

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

Estabilização Química de Lamas de Suinicultura com Cal

Dina Maria Rodrigues António

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador Científico Professora Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira

Lisboa 2009

AGRADECIMENTOS

À professora Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira pela orientação e capacidade de discernimento nas alturas mais necessárias.

Ao Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pelo uso das suas instalações, equipamentos e materiais.

Ao Departamento de Ciências da Vida da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pelo uso do seu laboratório e equipamentos.

À engenheira química Maria José Correia pelo carinho, compreensão e espírito de entreajuda sempre presente. Pelo auxílio imprescindível no laboratório, bem como na realização dos testes de microbiologia.

Ao Senhor Manuel Cândido pela disponibilidade em receber-nos na sua exploração e por ceder as lamas necessárias ao trabalho.

À operadora Carla Rodrigues do laboratório de análises Requimte – rede de química e tecnologia – da Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Às minhas colegas e amigas Vânia e Cidália pela satisfação de trabalhar em grupo sempre com entusiasmo e boa disposição mas acima de tudo com sentimento de dever cumprido. Pelas viagens, pelo companheirismo que sempre demonstraram.

À Ana Caldeira e à Rosária Maia pelas amigas que são e sempre serão. Pela ajuda nos momentos mais difíceis, com palavras de incentivo e encorajamento.

Aos meus pais pela paciência, compreensão e por acreditarem em mim. Por nunca me deixarem desmotivar e apoiarem as minhas decisões.

À minha tia Teresa e à minha prima Ângela pela sua força incondicional e apoio em todo o decorrer da tese.

Àquele que no final fez toda a diferença, Filipe Grangeiro.

Resumo

No panorama nacional, a problemática do tratamento dos resíduos produzidos nas suiniculturas é real, sendo importante, então, o aperfeiçoamento dos tratamentos existentes. Esta dissertação teve como primeiro objectivo avaliar o processo de calagem, na inactivação do microrganismo patogénico *Escherichia Coli* em lamas de suinicultura, com vista à sua aplicação ao solo. O segundo objectivo deste trabalho corresponde à validação das premissas para a estabilização química, propostas no *Working Document on Sludge – 3rd Draft*. Usou-se a cal viva (CaO) como desinfectante químico em concentrações de 2%, 8%, 12%, 16%, 24/25% e 37% e, posteriormente, realizaram-se análises ao pH, temperatura, *Escherichia Coli* e aos parâmetros de controlo, condutividade, humidade e sólidos voláteis. O processo de calagem mostrou-se eficiente devido fundamentalmente ao efeito de $\text{pH} \geq 12$ sem real efeito ao nível da temperatura. Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que a premissa para o tratamento químico em três meses é a mais vantajosa e equilibrada, para uma concentração, de pelo menos, 24%, a premissa é validada levando à inactivação da *Escherichia Coli*.

Palavras-chave – Estabilização química, cal viva, lamas de suiniculturas, pH e *Escherichia Coli*.

ABSTRACT

In the national picture, the issue of treatment of waste in pig farms is real, and it is important then the improvement of existing treatments. This dissertation first objective was to evaluate the process of adding quicklime (CaO) to sludge, in the inactivation of pathogenic microorganism *Escherichia coli* in pig sludge, for soil application. The second objective of this work is the validation of the premises for chemical stabilization, proposed in the *Working Document on Sludge - 3rd Draft*. Quicklime was used as chemical disinfectant, at concentrations of 2%, 8%, 12%, 16%, 24/25% and 37%, and subsequently there were tests to pH, temperature, *Escherichia coli* and the control parameters, conductivity, moisture and volatile solids. The process of adding quicklime proved to be efficient mainly due to the effect of $\text{pH} \geq 12$ with no real effect on the temperature. Through the results obtained, it is concluded that the premise for the chemical treatment in three months is the most advantageous and balanced, at a concentration of at least 24%, the premise is validated leading to inactivation of the *Escherichia coli*.

Keywords – Chemical treatment, quicklime, sludge from pig farms, pH and *Escherichia Coli*.

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

AFO	Animal Feed Operations
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
Ca	Cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CAFO	Confined Animal Feeding Operations
CaO	Óxido de cálcio
Cd	Cádmio
CH ₃ COOH	Ácido acético
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Crómio
Cu	Cobre
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EL0	Ensaio laboratorial 0
EL1	Ensaio laboratorial 1
EL2	Ensaio laboratorial 2
EPA	Environmental Protection Agency
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
GEE	Gases de efeito de estufa
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogénio
H ₂ S	Gás sulfídrico
Hg	Mercúrio

H1	Hipótese 1
H2	Hipótese 2
H3	Hipótese 3
HU	Humidade
HUp	Humidade prática
HUt	Humidade teórica
KOH	Hidróxido de potássio
LC ₅₀	Concentração letal
M.O	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
N	Azoto
N ₂	Azoto molecular
N ₂ O	Óxido de azoto
Na	Sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NH ₃	Amónia
NH ₄ ⁺	Ião amoníaco
NH ₄ OH	Hidróxido de amónio
Ni	Níquel
NMP	Número Mais Provável
NPDES	National Pollution Discharge Elimination System
P	Fósforo
PAA	Ácido peracético

Pb	Chumbo
PO ₄ ⁻³	lão fosfato
RNA	Ácido Ribonucleico
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
SVp	Sólidos voláteis práticos
SVt	Sólidos voláteis teóricos
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
UV	Ultra-violeta
Zn	Zinco

ÍNDICE DE MATÉRIAS

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE MATÉRIAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE QUADROS	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJECTIVOS.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Tratamento químico	9
3.1.1 Processo de estabilização	9
3.1.2 Desinfectantes	12
3.1.3 Doses utilizadas	15
3.2 Legislação	17
3.2.1 Premissas para estabilização química	17
3.2.2 Definição das lamas	19
3.2.3 Critérios de Qualidade	20
3.2.4 Regulamentação e valores limite	20
3.3 Agricultura	22
3.4 Microrganismos	30
4 CASO DE ESTUDO	39
5 METODOLOGIA.....	41
5.1 Plano de Amostragem.....	41
5.2 Métodos analíticos para caracterização físico-química	43
5.2.1 pH	43
5.2.2 Condutividade	44
5.2.3 Temperatura.....	45
5.2.4 Humidade	45
5.2.5 Sólidos Voláteis.....	46
5.3 Método analítico para a caracterização microbiológica	47
5.4 Determinação da pureza da cal	48

6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	49
6.1	Caracterização da lama fresca	49
6.1.1	pH	49
6.1.2	Microrganismos	49
6.1.3	Condutividade	51
6.1.4	Humidade	52
6.1.5	Sólidos Voláteis	52
6.2	Caracterização das misturas	53
6.2.1	pH	54
6.2.2	Temperatura	55
6.2.3	Microrganismos	58
6.2.4	Condutividade	60
6.2.5	Humidade	62
6.2.6	Sólidos Voláteis	64
6.3	Validação da premissa H1 → pH ≥ 12 e T=55°C, por 2 horas	66
6.4	Validação da premissa H2 → pH ≥ 12, por três meses	67
6.5	Validação da premissa H3 → pH ≥ 12 e mantê-lo por 24 horas	69
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO	71
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Microrganismos patogénicos em resíduos humanos e em estrume.	3
Figura 1.2 - Microrganismos patogénicos e tempo médio de sobrevivência.	4
Figura 4.1- Imagem das instalações dos leitões na exploração.	39
Figura 4.2 – Imagem de uma das lagoas da exploração.	40
Figura 4.3 – Imagem do digestor anaeróbio.	40
Figura 5.1 - Imagem do crivo que separa fase líquida da sólida.	41
Figura 5.2 - Imagem do atrelado e separador de sólidos.....	42
Figura 5.3 - Aparelho para medição de pH.	44
Figura 5.4 - Aparelho para medição da condutividade.	44
Figura 5.5 - Representação dos recipientes cilíndricos.	45
Figura 5.6 - Estufa.....	46
Figura 5.7- Mufla com amostras.	46
Figura 5.8 - Rampa de filtração.	47
Figura 6.1 - Exemplo de colónias de <i>Escherichia Coli</i> , no EL1.	50
Figura 6.2 - Exemplo de colónias de <i>Escherichia Coli</i> , no EL2.	51
Figura 6.3 - Evolução da temperatura com a variação da concentração de cal, do EL0.....	56
Figura 6.4 - Evolução da temperatura com a variação da concentração de cal, do EL2.....	58
Figura 6.5 - Exemplo de colónias de <i>Escherichia Coli</i> , no EL2, ao final de três meses.	59
Figura 6.6– Relação de pH com a presença e ausência de <i>Escherichia Coli</i>	60
Figura 6.7 – Variação da condutividade com a concentração de cal.	61
Figura 6.8 – Variação da humidade, para o T=0.....	63
Figura 6.9 - Variação de sólidos voláteis com a concentração de cal.	64
Figura 6.10 - Evolução de pH e temperatura das lamas para diferentes concentrações de cal, na H1.67	
Figura 6.11 - Evolução do pH das lamas para diferentes concentrações de cal, na H2.	68

Figura 6.12 - Evolução do pH das lamas para diferentes concentrações de cal, na H3..... 69

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Valor decimal de redução dos microrganismos, com ureia.....	14
Quadro 3.2 - Comparação dos valores limite para os parâmetros a analisar nas lamas destinadas à agricultura nos diferentes países.	21
Quadro 3.3 - Valores limite de concentrações nas lamas destinadas à agricultura.	22
Quadro 6.1 - Valores de pH da lama fresca.	49
Quadro 6.2 - Número de colónias na lama fresca para as diferentes diluições.	50
Quadro 6.3 - Valores de condutividade.	51
Quadro 6.4 - Peso seco e humidade da lama fresca.	52
Quadro 6.5 – Teor de sólidos voláteis.....	53
Quadro 6.6 - Valores de percentagem de cal corrigidas.....	53
Quadro 6.7- pH da mistura do EL0.....	54
Quadro 6.8 - pH da mistura do EL1 e EL2.....	55
Quadro 6.9 - Temperatura do EL0.....	56
Quadro 6.10 - Valores de temperatura do EL2.	57
Quadro 6.11 - Quantificação de <i>Escherichia Coli</i>	59
Quadro 6.12 - Valores de condutividade da mistura nos três ensaios laboratoriais.....	61
Quadro 6.13- Teor de peso seco e humidade da mistura.....	62
Quadro 6.14 - Valores de HU calculada e HU prática.	63
Quadro 6.15 - Sólidos voláteis da mistura nos três ensaios laboratoriais.	64
Quadro 6.16 - Valores de SV calculados e SV práticos.....	65
Quadro 6.17 - Valores de SV para a cal usada no EL0 e a cal usada nos EL1 e EL2.....	65
Quadro 6.18 - Valores pH e temperatura nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H1.	66
Quadro 6.19 - Valores pH nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H2.	68

Quadro 6.20 - Valores pH nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H3.	69
--	----

1 INTRODUÇÃO

As suiniculturas são, no panorama nacional, uma das maiores fontes de poluição. A pequena dimensão de explorações agrícolas, que se encontram concentradas em determinadas regiões, o clima seco e quente, a natureza do solo e a falta de informação dos produtores e projectistas que optam por sistemas de produção intensivos e sem tratamento, constituem assim, os principais factores condicionantes dos graves problemas de poluição, que atingem níveis alarmantes em determinadas zonas do país (Santos *et al.*, 2002).

As lamas digeridas de suiniculturas caracterizam-se principalmente por serem muito húmidas, por possuírem um pH ligeiramente básico e por terem uma composição essencialmente orgânica. A digestão anaeróbia ou a estabilização química com cal tornam as lamas mais estáveis para deposição final (Gray, 2004).

O estrume de porco é um importante resíduo provenientes de agro-ecossistemas e a sua deposição inadequada pode criar problemas ambientais, incluindo maus cheiros e lixiviação de nitratos bem como de outros poluentes nas águas subterrâneas (Amberger, 1990; Pandey *et al.*, 1992; Diez *et al.*, 2001), citados por (Roz *et al.*, 2006).

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) chumbou, nos últimos três meses de 2008, perto de metade dos pedidos de licença ambiental das maiores suiniculturas do país. Sem esta as explorações não podem funcionar. No entanto, é público que as mesmas continuam em funcionamento, agravando a já débil situação, relacionada com as águas e lamas produzidas.

Nos Estados Unidos a U.S EPA publicou em 2003, novos regulamentos para operações de alimentação para animais confinados (CAFO's). Dependendo da dimensão da exploração

(número e peso dos animais) e outras condições como controlo de águas superficiais, as AFO's pode ser classificadas como CAFO's e serem obrigadas a obter uma licença NPDE.

A aplicação de lamas ao solo origina benefícios para o mesmo e apresenta uma boa relação custo-eficácia do método de eliminação de lamas. No entanto, o reaproveitamento deste produto apresenta preocupações a nível da saúde que devem ser abordadas e satisfeitas, antes que o seu uso no solo se torne uma prática mundialmente aceite. As preocupações de saúde referidas anteriormente incluem a transmissão de patogénicos para a alimentação e para os trabalhadores agrícolas, contaminação de água subterrânea e superficial com material fecal, devido a enxurradas, e a acumulação de metais pesados ou contaminantes orgânicos (Venglovsky *et al.*, 2006).

Tendo em conta que os animais infectados disseminam mais de 30 agentes perigosos para a saúde pública, sendo muitos destes de especial importância em fezes e águas residuais, o uso destas lamas na agricultura pode originar riscos para a saúde pública, se os seguintes pré-requisitos se verificarem:

- A dose do patogénico excretado atingir a água, ou se os patogénicos se multiplicarem num hospedeiro intermédio que reside na água ou no ambiente aquático de modo a constituir uma dose infecciosa;
- A dose infectada atingir um hospedeiro humano através de contacto ou do consumo de produtos de aquacultura;
- O hospedeiro ficar infectado;
- A infecção provocar doença ou a transmissão da mesma (Venglovsky *et al.*, 2006).

Na Figura 1.1 são referidos alguns dos microrganismos patogénicos existentes em resíduos humanos e em estrume, assim como a respectiva doença a que estão associados.

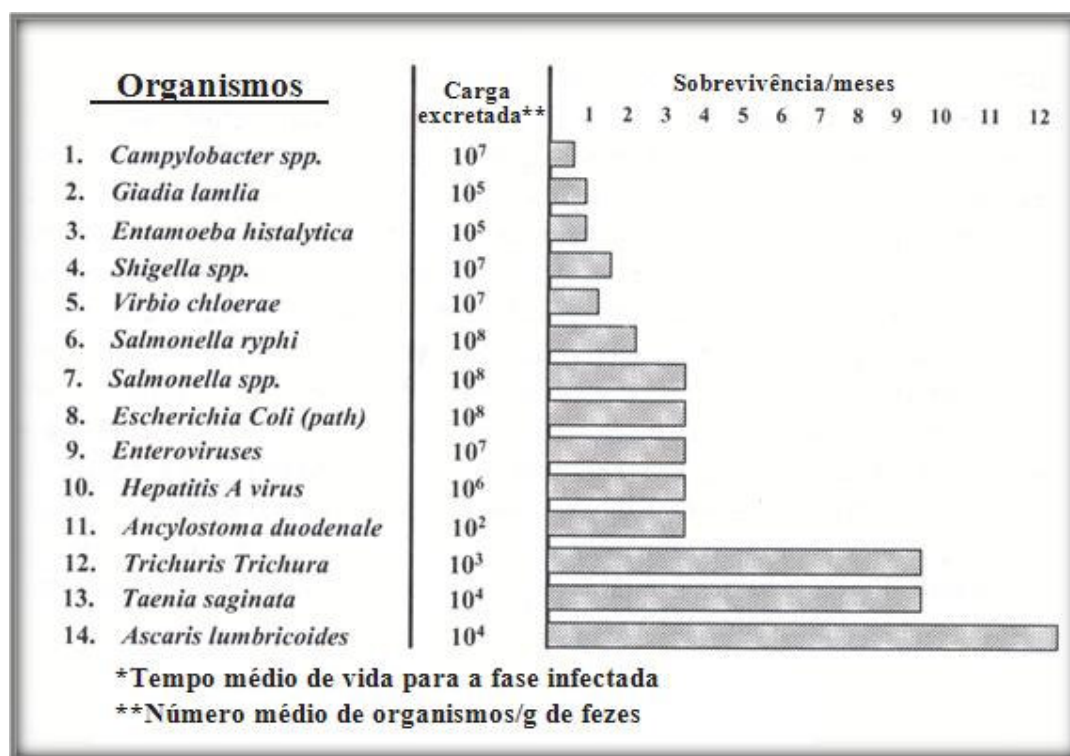
Patogénicos	Doenças
Vírus	
Enterovirus	Gastroenterite
Rotavirus	Gastroenterite
Parvovirus	Gastroenterite
Adenovirus	Infeções respiratórias
Hepatitis A virus	Hepatite viral
Polio virus	Poliomielite
Coxsackie virus	Meningite
Bactérias	
Salmonella	Salmonelose
Shigellae	Shigelose
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculose
Vibrio cholerae	Cólera
Escherichia coli	Gastroenterite
Yersinia enterocolica	Gastroenterite
Clostridium perfringens	Gastroenterite, gangrena
Clostridium botulinum	Botulismo
Listeria monocytogenes	Encefalite
Campylobacter jejuni	Gastroenterite
Fungos	
Candida sp. Mycoses	Micoses (pele e sistémica)
Tricosporon cutaneum	Micose da pele
Aspergillus fumigatus	Micose dos pulmões
Trichophyton sp.	Micoses da pele
Epidermophyton sp.	Micoses da pele
Microsporum sp.	Micoses da pele
Protozoários	
Entamoeba sp.	Amebíase
Giardia lamblia	Giardiase
Balantidium coli	Desintéria
Cryptosporidium parvum	Diarréia
Acanthamoeba	Meningoencefalite
Helminthes	
Ascaris lumbricoides	Parasitose
Ancylostoma sp.	Parasitose
Necator americanus	Parasitose
Enterobius vermicularis	Parasitose
Strongyloides stercoralis	Parasitose
Trichuris trichiura	Parasitose
Taenia solium	Parasitose
Hymenolepis nana	Parasitose

Adaptada de: (Filip *et al.*, 1988)

Figura 1.1 – Microrganismos patogénicos em resíduos humanos e em estrume.

Desta forma, os microrganismos patogénicos em estrume e outros resíduos representam potenciais riscos para a saúde humana e animal em instalações de produção agrícola, com ou sem animais, se os resíduos não forem adequadamente tratados e acondicionados, podendo ainda contaminar água, solo e ar (Sobsey *et al.*, 2001). Assim, nos últimos anos, tem sido dada uma atenção acrescida ao destino dos microrganismos patogénicos para

humanos e animais, devido ao seu potencial poluente no meio ambiente (Venglovsky *et al.*, 2006).



Adaptada de: (Choi, 2007)

Figura 1.2 - Microrganismos patogénicos e tempo médio de sobrevivência.

A Figura 1.2 quantifica o número de organismos excretados nas fezes dos porcos e o tempo médio de sobrevivência dos mesmos.

A contaminação com patogénicos de trabalhadores de explorações agrícolas é possível e a sua infecção pode levar a uma posterior transmissão a outros contactos (Sobsey *et al.*, 2001).

Guan e Holley (2003) afirmaram que a eliminação de microrganismos patogénicos de estrumes usados como fertilizantes se trata de um aspecto fulcral na gestão da problemática de patogénicos em culturas usadas como rações e alimento.

O DL n.º 118/2006, de 21 de Junho, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 86/278/CE, de 12 de Junho. O diploma estabelece o regime a que obedece a utilização de lamas de depuração, em solos agrícolas, de forma a evitar efeitos nocivos para o homem, água, vegetação e animais. A correcta aplicação das lamas é também designada neste documento o que constitui um aperfeiçoamento, de modo a criar uma maior exigência do ponto de vista dos valores ambientais e de saúde pública.

Existem documentos europeus redigidos de modo a aproximar os vários países, ao nível dos métodos de eliminação de lamas. Em Dezembro de 2003, a DG ENV. A.2. (Directorate-General Environment) apresentou o “Draft on biowastes and sludges”, no qual as lamas podem ser:

Incineradas – A existência de valores limite para emissões de metais pesados e compostos químicos visa a prevenção e mitigação de efeitos negativos no ambiente e na saúde humana. A fracção húmida de resíduos biodegradáveis diminui o desempenho energético do processo.

Depositadas em aterro – A decomposição produz biogás. No entanto, a maior parte dos resíduos permanece no aterro e os nutrientes não se encontram disponíveis para o crescimento das plantas. Quanto menor a quantidade de matéria orgânica depositada em aterro, menos biogás é produzido.

Aplicadas no solo – Este método tem como objectivo a reestruturação do solo e compensação das suas perdas por mineralização. Assim, pode-se considerar que aplicação de lamas ao solo é positiva, uma vez que contribui para a redução do impacte no uso de recursos.

De modo a obter-se uma lama viável para a sua aplicação no solo recorre-se, entre muitos outros métodos, ao tratamento químico sendo a calagem, ou seja, a adição de cal viva (CaO) um dos mais usados.

Existem vantagens e desvantagens nos processos de estabilização química de lamas tendo em conta a sua complexidade no panorama ambiental e tecnológico. Como vantagens do tratamento químico têm-se:

- Cumprimento das exigências para a inactivação efectiva de patogénicos por parte de muitos dos produtos químicos existentes;
- Existência de provas dadas, com resultados de investigação, ao longo dos anos;
- Simplicidade do método e fácil operação in situ;
- Algumas substâncias, tal como a cal, possuem um valor acrescido para o solo.

Como desvantagens apresentam-se:

- Aumento da massa dos resíduos, verificados em alguns casos, quando é necessária uma grande quantidade de químicos;
- Riscos de segurança para o pessoal que manuseia os químicos;
- Emissão de odores e amoníaco;
- Efeitos tóxicos para o ambiente (Mohaibes e Heinonen-Tanski, 2004).

Os processos de estabilização servem para prevenir possíveis fermentações e os processos de higienização para evitar contaminações por microrganismos de elevado impacto para a saúde humana. Uma lama pode ser quimicamente estabilizada através da adição de CaO, cujo papel é inibir temporariamente o crescimento bacteriano (Duarte e Reis, s.d.).

O processo de calagem torna-se eficaz dado que origina a estabilização das lamas, inactiva os microrganismos, aumenta a qualidade de fertilização das lamas e contribui para a calagem periódica do solo (Plachá *et al.*, 2008).

Neste contexto, a estabilização química com cal surge de modo a obter-se um tratamento sustentável e viável para se fazer face à amplitude dos problemas ambientais associados à utilização agrícola de lamas. O propósito deste método é alcançar um produto final vantajoso, em termos da inactivação dos microrganismos patogénicos. Sendo a análise microbiológica efectuada à *Escherichia Coli*, por se tratar de um microrganismo patogénico indicador de contaminação fecal.

2 OBJECTIVOS

Esta dissertação tem os seguintes objectivos:

Avaliar o processo de calagem na inactivação do microrganismo patogénico *Escherichia Coli* em lamas de suinicultura, com vista à sua aplicação no solo.

Validar as premissas para a estabilização química das lamas, propostas pela DG ENV.E.3 (Directorate-General Environment) no documento "*Working Document on Sludge – 3rd Draft*":

- Hipótese 1 (H1) → pH ≥ 12 e T=55°C, por 2 horas;
- Hipótese 2 (H2) → pH ≥ 12 , por três meses (2160 horas);
- Hipótese 3 (H3) → pH ≥ 12 e mantê-lo por 24 horas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento químico

3.1.1 Processo de estabilização

A estabilização e desidratação das lamas podem conduzir a uma inactivação eficaz da carga microbiológica das mesmas, tendo em conta a vertente patológica. Tal pode suceder quando uma lama é exposta a elevadas temperaturas ou aumentos radicais do pH, sendo isso possível através do processo de calagem (Duarte e Reis, s.d.).

Os principais efeitos do tratamento químico são a inactivação de proteínas ou inactivação de DNA/RNA (Vinneras, 2007). O tratamento químico pode libertar a água que se encontra no interior da estrutura do floco e da célula, que não é removida nos processos convencionais de desidratação. Logo, o tratamento químico pode melhorar a capacidade de desidratação das lamas (Li *et al.*, 2008).

As principais desvantagens do uso de desinfectantes químicos, mencionada por Burton e Turner (2003), são o efeito negativo dos desinfectantes sobre o meio ambiente, o preço e a tecnologia de aplicação. No entanto, através da calagem das lamas é possível contrariar estes efeitos negativos uma vez que a cal não sobrecarrega o ambiente, apresenta-se acessível no mercado e consegue melhorar a qualidade das lamas como fertilizante. Para esse efeito, a cal é usada sob a forma de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) ou óxido de cálcio (CaO). O CaO adicionado às lamas, reage com a água e produz Ca(OH)_2 e calor. O calor produzido e o pH alcalino são factores decisivos no processo de desinfecção (Venglovsky *et al.*, 2006).

A calagem altera algumas das características das lamas, tais como a temperatura, a matéria seca e o pH. A eficiência do processo está estritamente ligada com o pH alcançado e não com a quantidade de cal adicionada. Este facto é muito importante porque o CaO hidrata-se rapidamente reduzindo, assim, a sua capacidade de inactivação. O pH alcançado, o período de actividade da cal, a matéria seca, o tempo de armazenamento e as condições de mistura são factores determinantes na eficácia de supressão de microrganismos patogénicos (Duarte e Reis, s.d.).

A estabilização com cal é um processo aprovado pela EPA visando uma significativa redução de microrganismos patogénicos e o controlo de odores em lamas. A inactivação de microrganismos e a consequente redução de odores, resulta do aumento do pH causado pela adição de CaO ou Ca(OH)_2 às lamas. A eficácia do processo a nível da redução de patogénicos e controlo de odor depende da capacidade para alcançar e manter um pH elevado (>12), através de suficiente adição e incorporação de cal (Burns *et al.*, 2007).

À medida que elevadas doses de cal viva reagem com a humidade da lama, os sólidos totais aumentam até uma dimensão em que as forças a actuar na mistura não são suficientemente fortes para incorporar completamente a cal em todas as áreas originando, assim, pequenas zonas que não foram doseadas adequadamente (Burns *et al.*, 2007). Segundo North (2003), um tempo de mistura mais longo origina uma distribuição mais uniforme de cal e uma maior redução de coliformes fecais. O aumento do tempo de mistura gera mais oportunidades de contacto entre a cal e a lama de esgoto. No entanto, a mistura não é unicamente função do tempo, a intensidade da mistura deve ser suficientemente forte para quebrar as massas de lamas e permitir um contacto interno da cal com a lama. Resumindo o aumento do tempo de mistura facilita a incorporação de cal e leva a uma melhor qualidade da lama em termos

de pH. Uma inadequada incorporação de cal pode originar apenas o contacto com a camada exterior da massa de lama com a cal. Por isso, o pH deve ser medido tanto no exterior com no interior da lama (Burns *et al.*, 2007).

Com a base no princípio da saturação do cálcio e dos mecanismos de estabilização dos valores de pH, verifica-se que o Ca é usado gradualmente à medida que a estabilização decorre. Sendo que, os valores de pH diminuem com a diminuição dos níveis de Ca. À medida que se adiciona maiores quantidades da mistura (cinzas de lamas com cal hidratada) a um solo não tratado, menor é o decréscimo e mais suave é a variação do pH. Tal é explicado pelo facto da cal hidratada conter Ca suficiente para a reacção (Deng-Fong *et al.*, 2007).

A redução do pH na lama líquida ocorre assim que o mesmo se encontra favorável para a actividade microbiana ($\text{pH} < 10$), nas zonas pobremente misturadas. A inactivação dos microrganismos quando não é eficaz causa uma redução de pH, através da produção de ácidos orgânicos e CO_2 . O efeito da temperatura no pH é maior para valores mais afastados de 7 (Burns *et al.*, 2007). No entanto, de acordo com os resultados obtidos pelo autor Bujoczek *et al.* (2001) a adição de CaO às lamas originou um aumento de pH e desinfecção através da libertação de NH_3 natural da lama, sendo que o facto do estudo se efectuar com armazenamento em condições anóxicas, tenha resultado no impedimento da volatilização e perda de NH_3 das lamas abrandando, assim, a diminuição do pH. O potencial de desinfecção do NH_3 natural da lama foi usado perto do seu máximo. O consequente declínio do pH das lamas pode ser vantajoso mas apenas se a desinfecção for completa. A selecção adequada das doses de CaO a adicionar de modo a haver um aumento de pH deve ser baseada no tempo mínimo necessário para reduzir os microrganismos patogénicos eficazmente.

Allievi *et al.* (1994) citados por (Vinneras *et al.*, 2003) descobriram uma maior inactivação de bactérias por compostos com amónia, devido ao elevado conteúdo de amónia livre existente nas amostras com NH_4OH , aquando da comparação da eficiência de desinfecção do hidróxido de amoníaco (NH_4OH) com a do hidróxido de potássio (KOH), adicionados em concentrações iguais.

Tanto à escala laboratorial como à escala real os estudos efectuados pelos autores Burns *et al.* (2007) demonstram as melhorias da incorporação de cal no prolongamento do tempo de mistura. Uma incorporação mais eficiente da cal à lama causa uma redução de pH mínima (<3 unidades de pH) e gera menos odores agressivos quando comparada com lamas fracamente misturadas e armazenadas por 28 dias.

3.1.2 Desinfectantes

A reacção de CaO para originar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é uma reacção exotérmica, sendo de esperar um aumento de temperatura ao adicionar-se cal à lama. O aumento de pH não é estritamente proporcional à quantidade de cal adicionada, dependendo fundamentalmente da natureza da lama. No caso das lamas sólidas, a calagem evidencia um acréscimo de MS até 11% e de temperatura que pode ir até aos 9°C (Duarte e Reis, s.d.).

Durante a estabilização com CaO , obtém-se um produto altamente alcalino podendo este método ser recomendado para uma eficaz inactivação de microrganismos patogénicos, segundo Sobsey (2001) e Hrazdira *et al.* (2002) citados por (Plachá *et al.*, 2008).

Segundo Sattar *et al.* (1976), citado por (Venglovsky *et al.*, 2006) o Ca(OH)_2 é frequentemente utilizado como floculante na desidratação e dependendo da dose usada e das propriedades da lama, o pH aumenta tornando-se alcalino.

Allievi *et al.* (1994) quando utilizaram NH_3 e KOH , em concentrações semelhantes, observaram uma maior inactivação de bactérias por parte de compostos à base de amónia. Um dos factores que origina uma maior inactivação está relacionado com o aumento da quantidade de amónia livre. Esta é regulada pelo equilíbrio entre (NH_3) e o ião (NH_4^+) . O aumento de temperatura ou de pH força o equilíbrio no sentido de formação de amoníaco livre (Vinneras, 2007).

Ao escolher produtos químicos, como Ca(OH)_2 , NH_3 , KOH e PO_4^{-3} , para o tratamento químico, uma das vantagens é o seu potencial valor agronómico (Allievi *et al.*, 1994) e a rapidez, que possa permitir um curto período de tempo do tratamento (Vinneras *et al.*, 2003).

A adição de ureia, como agente desinfectante, origina um aumento do valor de fertilidade da lama quando aplicada no solo. A ureia é um químico de fácil manuseamento. Vinneras (2007) obteve os resultados apresentados no Quadro 3.1, relativos ao valor decimal de redução para diversos microrganismos patogénicos em diferentes substratos.

Quadro 3.1 - Valor decimal de redução dos microrganismos, com ureia.

Microrganismos patogénicos	Material	% de Ureia	pH	Temp. (°C)	Valor D _r (dias)
<i>Salmonella spp.</i>	Fezes	6	9,5	20	< 0,7
<i>Salmonella spp.</i>	Fezes	2	9,2	14	1,7
<i>Salmonella spp.</i>	Estrume de porco	2	9,1	14	<3
<i>Salmonella spp.</i>	Estrume de porco	2	9,1	4	7
Coliformes fecais	Fezes	6	9,5	20	<0,7
<i>Enterococos spp.</i>	Fezes	6	9,5	20	<5
<i>Clostridia spp.</i>	Fezes	6	9,5	20	Não houve redução durante 50 dias.

A ureia é um dos fertilizantes azotados mais utilizados mundialmente e aquando da sua utilização no solo é convertida em NH_3 e CO_2 pela enzima urease (Vinneras *et al.*, 2003). O tratamento químico com ureia pode ser usado tanto a grande escala como a pequena dado que o único requisito é que o sistema permaneça fechado e que haja mistura inicial de modo a que a amónia produzida permaneça na matéria tratada até à sua aplicação no solo, prevenindo, deste modo, um novo crescimento de patogénicos e reduzindo o risco de contaminação (Vinneras 2007).

A mistura ácido peracético (PAA) (Proxitane 15, Solvay, RU), que tem uma composição de aproximadamente 15% de PAA, 15% de peróxido de hidrogénio e 30% de ácido acético, consiste numa mistura equilibrada entre água, CH_3COOH e H_2O_2 . Trata-se de um produto tóxico, corrosivo e que pode explodir quando em altas concentrações. Devido à sua elevada reactividade, o PAA precisa de ser manuseado com cuidado. As vantagens da sua utilização são: o efeito rápido no tratamento e a obtenção de produtos finais inofensivos é no entanto, um tratamento mais aceitável para materiais com reduzida matéria orgânica. Com PAA consegue-se uma maior redução de odor. O teor de matéria orgânica do material afecta a

eficiência do PAA. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior terá de ser a concentração de PAA para a desinfecção. Após a desinfecção com PAA, existe o risco de ressurgimento de bactérias ao longo do tempo, daí o químico em questão ser usado imediatamente antes da aplicação do material ao solo (Vinneras *et al.*, 2003).

3.1.3 Doses utilizadas

A dose de cal adicionada às lamas depende da origem das mesmas, da sua composição química e da concentração de sólidos (Turovskiy e Mathai 2006).

Quando produtos de cal são adicionados ao estrume sólido, é importante que a adição seja feita em finas camadas para que a mistura seja mais homogênea. Quando adicionados a chorume, com recurso a bombas, a mistura é eficiente e uma concentração de 10 Kg/ton mostrou-se eficaz (Heinonen-Tanski *et al.*, 2006).

Na experiência realizada por Burns *et al.* (2007) foram recolhidas lamas na estação de tratamento e doseadas com 3,5%, 7% e 10% (em peso húmido g/g) de CaO. As doses mais elevadas (7% e 10%) e com melhor processo de incorporação de CaO originam menor redução de pH, no entanto, a concentração 3,5% foi escolhida de modo a determinar se esta dose usada na instalação é suficiente para prevenir uma redução de pH acentuada. Originando uma redução moderada, o pH diminuiu para 10,75 em 28 dias, no entanto esta descida não foi suficiente para causar o aumento de odor.

Segundo Little (1995), quando o pH é de 12,4 aproximadamente, a quantidade de cal necessária varia entre 4% e 8%. Evans (1997) divulgou que os valores de pH aumentam em função da adição de quantidades específicas de cal para a estabilização e posterior aplicação

ao solo, sendo que o valor máximo de pH atingido ocorreu com a adição de 7% de cal, citados por (Deng-Fong *et al.*, 2007).

No estudo feito por Bujoczek *et al.* (2001) com temperaturas de 20-22°C, foi adicionado CaO a lamas digeridas e desidratadas com 31,6% de ST, nas doses de 30, 60, 120, 150, 240 e 480 g CaO/Kg ST, sendo o tempo de armazenamento de 6 meses. A baixas temperaturas, 4-6°C, utilizaram-se lamas com 28,5% de ST e com doses de 20, 40, 80, 120 e 160 g/Kg ST, com um tempo de armazenamento de cerca de 9 meses.

Com vista à estabilização de lamas provenientes de uma estação de tratamento de águas residuais, procedeu-se à incorporação de 10 Kg.m⁻³ de CaO nas lamas, o que corresponde a 100 mg.g⁻¹ MS de lama. O ensaio experimental teve a duração de 120 horas. Um litro de lama, sem CaO adicionado, foi acondicionado a 4°C para servir de controlo (Plachá *et al.*, 2008).

Para avaliar a eficiência do processo de calagem, Duarte e Reis (s.d.) teve como caso de estudo lamas líquidas de ETAR com um teor de matéria seca (MS) entre 2 e 3% e lamas sólidas com um teor de MS superior a 23%, sendo que as doses utilizadas foram de 150 g CaO. Kg⁻¹ MS (15%), 300 g CaO. Kg⁻¹ MS (30%) e 450 g CaO. Kg⁻¹ MS (45%).

No trabalho efectuado por Li *et al.* (2008) com lamas recolhidas de uma estação de tratamento de águas residuais, com processo de lamas activadas, foram usados dois desinfectantes químicos, NaOH adicionado em doses entre 0,05 mol.L⁻¹ e 1,0 mol.L⁻¹ e Ca(OH)₂ com doses entre 0,02 mol.L⁻¹ e 0,5 mol.L⁻¹.

Na experiência laboratorial feita por Eriksen *et al.* (1995), concluiu-se que um tratamento de lamas de esgoto com 10% peso húmido de cal viva (85% CaO) por pelo menos 3 meses, destruiu por completo a capacidade embrionária dos ovos de *Ascaris suum*.

O tratamento químico de matéria fecal com 3% de ureia e contendo 10% de MS, juntamente com adição de 0,9% de ureia a estrume de porco com cerca de 12% de MS foi executado por Vinneras (2007).

Vinneras *et al.* (2003) realizou um estudo sobre tratamento químico de matéria fecal, usando como desinfectante PAA em concentrações de 0,5%, 1% e 1,5% de peso húmido da substância activa, correspondendo a 3,3%, 6,7% e 10% de Proxitane 15, respectivamente, e amónia correspondendo a 30 g de nitrogénio por Kg de matéria fecal.

3.2 Legislação

3.2.1 Premissas para estabilização química

O Working Document on Sludge – 3rd Draft, redigido com o objectivo de melhorar a situação de gestão das lamas e no qual estas deverão ser tratadas com o objectivo de reduzir a probabilidade de contaminação com microrganismos patogénicos e aumentar a confiança dos consumidores, apresenta os seguintes processos de tratamento químico de lamas: tratamentos avançados (tratamento convencional seguido de higienização) e tratamentos convencionais (espessamento, estabilização e desidratação).

Tratamento avançado

- Tratamento com cal atingindo um pH de 12 ou mais e mantendo uma temperatura mínima de 55 ° C por 2 horas →H1;

- Tratamento com cal alcançando e mantendo um pH de 12 ou mais, por três meses →H2.

O campo de aplicação de lamas higienizadas é muito maior do que o das lamas sujeitas apenas a um tratamento convencional.

Tratamento convencional

- Tratamento com cal assegurando uma mistura homogênea de cal e lamas. A mistura deve atingir um pH superior a 12, imediatamente a seguir à calagem, mantendo o pH de pelo menos 12, por 24 horas →H3.

No documento U.S EPA – Part 503: Standards for the use or disposal of sewage sludge, são apresentadas as seguintes condições:

Redução de vectores de atracção

O pH das lamas de esgoto deve ser aumentado para 12 ou mais por produtos alcalinos e sem mais adição de produtos alcalinos, deve ser mantida em 12 ou mais durante duas horas devendo ser mantido, posteriormente, em 11.5, ou superior, por mais 22 horas;

O pH de lamas domésticas deverá ser aumentado para 12 ou mais por produtos alcalinos e sem mais adição de produtos alcalinos, deve ser mantida em 12 ou mais, durante 30 minutos.

Processos para reduzir significativamente os patogénicos

Estabilização com cal em que é adicionada à lama de ETAR, cal suficiente para elevar o respectivo pH a 12 após duas horas de contacto.

Burns *et al.* (2007) referem que, de acordo com a U.S EPA lamas da classe B, são obtidas após se alcançar o pH acima de 12, por duas horas, para uma redução de patogénicos e pH acima de 11,5, por mais 22 horas, para redução de vectores de atracção. No entanto, os regulamentos estabelecidos para lamas de classe B não requerem novo teste às mesmas após longo período de armazenamento, o que pode levar à ocultação da potencial redução de pH e problemas com odor, dado que lamas estabilizadas com cal indevidamente, podem originar novo crescimento de patogénicos e odores.

Venglovsky *et al.* (2006) referem que nos Estados Unidos, de acordo com a U.S EPA para as lamas de classe A, os microrganismos patogénicos, *Salmonella*, *enterovirus* e *viable nematodes* devem ser reduzidos a um nível inferior ao detectável. Para as lamas de classe B, de uso restrito, as bactérias patogénicas e os vírus são reduzidos em densidade, verificado pela densidade de coliformes fecais, na lama de esgoto tratada, de 2×10^6 NMP.g⁻¹ de ST. Segundo Gantzer *et al.* (2001), os ovos viáveis de helmintas não são necessariamente reduzidos numa lama da classe B.

3.2.2 Definição das lamas

Em Portugal, lamas tratadas, segundo o DL n.º 118/2006, de 21 de Junho, são aquelas que são submetidas a um tratamento biológico, químico ou térmico, por armazenagem a longo prazo ou por qualquer outro processo. O processo de tratamento tem por objectivo a eliminação dos microrganismos patogénicos que ponham em risco a saúde pública, bem como à redução significativa do poder de fermentação, de modo a evitar a formação de odores desagradáveis.

3.2.3 Critérios de Qualidade

As lamas sujeitas a digestão anaeróbia contêm entre 5 a 8 vezes a concentração de azoto amoniacal, quando comparadas com lamas frescas, sendo que este é libertado sob a forma gasosa a um pH elevado, que é propício ao processo de estabilização. A adição de cal às lamas reduz os odores e o risco do aparecimento de microrganismos patogénicos, ao criar um ambiente de pH elevado hostil à actividade biológica e de vectores (Turovskiy e Mathai 2006).

As lamas deverão ser tratadas com o objectivo de reduzir a probabilidade de contaminação com organismos patogénicos e aumentar a confiança dos consumidores.

A utilização de lamas na fertilização do solo está condicionada às suas características e ao conteúdo das lamas em metais pesados (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn) susceptíveis de causar poluição no solo e, em certas condições, das águas.

A redução da utilização das lamas como fertilizante na floresta e na agricultura prende-se basicamente com a garantia de qualidade (conteúdo em metais pesados e organismos patogénicos), com a homogeneidade da sua composição e a falta de dados disponíveis no que se refere às metodologias de incorporação no solo, quantidades a utilizar nas diversas combinações de espécies, condições climáticas e composição adequada a cada situação.

3.2.4 Regulamentação e valores limite

A necessidade de rever e adequar a legislação existente a uma maior exigência do ponto de vista da salvaguarda dos valores ambientais e da saúde humana tem originado, nomeadamente nos países desenvolvidos, documentos legislativos e normativos, regulamentos e códigos de boas práticas visando a redução e valorização dos resíduos

orgânicos, contemplando as diversas componentes da sua gestão, desde a produção e processamento até à utilização na agricultura. Na União Europeia a Directiva n.º 86/278/CE, de 12 de Junho, está na base dos documentos redigidos por cada estado membro.

De acordo com o DL n.º 118/2006, de 21 de Junho, são vários os parâmetros que devem ser analisados em todas as lamas destinadas a utilização agrícola, tais como: matéria seca, matéria orgânica, pH, azoto total, azoto nítrico e amoniacal, fósforo total, metais pesados, compostos orgânicos e dioxinas.

Quadro 3.2 - Comparação dos valores limite para os parâmetros a analisar nas lamas destinadas à agricultura nos diferentes países.

Parâmetros	Unidades	Valor limite			
		Portugal	Espanha		Itália
		DL nº118/2006	R.D. 1310/1990 Ph<7 Ph>7		D. Lgs. nº 99/1992
Cádmio	mg.Kg-1 PS	20	20	40	20
Cobre		1000	1000	1750	1000
Níquel		300	300	400	300
Chumbo		750	750	1200	750
Zinco		2500	2500	4000	2500
Mercúrio		16	16	25	10
Crómio		1000	1000	1500	-
AOX	mg.Kg-1 PS	500	-	-	-
LAS		2600	-	-	-
DEHP		100	-	-	-
NPE		50	-	-	-
PAH		6	-	-	-
PCB		0,8	-	-	-
PCDD/F	ng TE.Kg-1 PS	100	-	-	-
C org.	% PS	-	-	-	20
P total		-	-	-	0,4
K total		-	-	-	1,5
Salmonella	NMP.g-1 PS	-	-	-	10 ³

No Quadro 3.2 encontram-se especificados os valores limite existentes nas legislações de Portugal, Itália e Espanha.

Considerando o documento “*Working Document on Sludge – 3rd Draft*” assume-se a definição de lamas tratadas como, lamas sujeitas a um ou mais processos que visem a redução significativa da biodegradabilidade bem como do seu potencial perigoso para o ambiente e para a saúde humana aquando da sua utilização na agricultura. No Quadro 3.3 encontram-se os valores limite para metais pesados e compostos orgânicos.

Quadro 3.3 - Valores limite de concentrações nas lamas destinadas à agricultura.

Parâmetros	Unidades	Working Document on Sludge – 3rd Draft
Cádmio	mg.Kg-1 PS	10
Cobre		1000
Níquel		300
Chumbo		750
Zinco		2500
Mercúrio		10
Crómio		1000
AOX	mg.Kg-1 PS	500
LAS		2600
DEHP		100
NPE		50
PAH		6
PCB		0,8
PCDD/F	ng TE.Kg-1 PS	100

3.3 Agricultura

Segundo os autores Westerman e Bicudo (2005), a utilização de resíduos orgânicos na agricultura depende de vários factores, tais como: as características do resíduo a nível de nutrientes e metais pesados, valor energético, odor gerado pelo resíduo, disponibilidade de utilização, custos de transporte, benefícios para a agricultura e regulamentação a ter em conta.

Apesar da utilização dos resíduos orgânicos na agricultura trazer muitos benefícios, existem factores que limitam significativamente essa estratégia segundo Merillot (1998). As limitações abrangem: integração na agricultura, controle de qualidade dos produtos, economia, logística e organização, regulamentações ambientais e aceitação pública. Apesar de existirem sobreposições entre alguns destes factores limitantes, os desafios para a incorporação de resíduos orgânicos na agricultura incluem:

- Desequilíbrios regionais de nutrientes;
- Desequilíbrio de nutrientes nos resíduos orgânicos em relação às necessidades das culturas;
- Baixa concentração de nutrientes comparando com os fertilizantes químicos;
- Variabilidade no teor de nutrientes, dificuldade em determinar rapidamente o teor em nutrientes e prever a disponibilidade dos mesmos para as culturas;
- Natureza volumosa dos resíduos, que dificulta o arraste e espalhamento;
- Satisfação de normas ambientais, a nível de quantidades, calendarização e métodos de aplicação;
- Eventuais preocupações ambientais, tais como emissões de amoníaco e outros gases, odores e agentes patogénicos (Westerman e Bicudo, 2005).

A importância da aplicação das lamas nos solos resulta dos seus elevados teores em M.O., N₂, P, Ca e outros elementos minerais. A deposição das mesmas permite colmatar o problema dos nossos solos pobres em M.O, permitindo a minimização do problema a nível ambiental e económico. No entanto, os benefícios para as culturas e solos apenas se verificam se a aplicação das lamas for feita correctamente, respeitando as épocas de cultivo, condicionantes do solo, clima, técnicas de aplicação e quantidades a adicionar.

Quantidades substanciais de lamas e estrume têm como destino terras agrícolas. O estrume tem sido espalhado no solo por muitos séculos, não só como método de eliminação mas também como fertilizante. Antes do recurso a fertilizantes inorgânicos, o estrume adicionado ao solo era a principal fonte de nutrientes para as plantas. O estrume e outros resíduos de diversos animais muitas vezes contêm elevadas concentrações de microrganismos patogénicos para os seres humanos (Venglovsky *et al.*, 2006).

A reciclagem de lamas na agricultura aumenta o risco da contaminação do ambiente com microrganismos patogénicos, que entram na cadeia alimentar humana ou infectam os animais, segundo Martinez e Burton (2003) e citados por Plachá *et al.* (2008).

A aplicação de lamas ao solo oferece muitas vantagens, algumas das quais são a eliminação de material indesejável, o fornecimento de preciosos nutrientes para culturas agrícolas e a melhoria das propriedades do solo. No entanto, existe uma preocupação pública acerca do uso de lamas no solo. A reutilização de lamas na agricultura é aceitável somente se a higienização das lamas for assegurada e a preocupação pública for minimizada. Os benefícios ambientais para uma melhor gestão do uso de estrume só serão plenamente atingidos se houver uma ampla aceitação de tais técnicas em áreas essenciais. É possível que grandes explorações de animais possam acomodar essa tecnologia com relativamente pouco apoio, no entanto, para pequenas propriedades rurais é pouco provável que se trate de um processo prático e a opção de instalações centralizadas pode ter de ser considerada (Venglovsky *et al.*, 2006).

A deposição directa das lamas no solo pode originar desequilíbrios ecológicos, originando problemas de imobilização de N e mineralização do carbono orgânico, levando, desta forma,

ao aumento da actividade microbiológica e a reduções de oxigénio (Bernal *et al.*, 1998; Sanchez-Monedero *et al.*, 2004).

O pH é um importante indicador das condições químicas do solo, dado que possui a aptidão para interferir na disponibilidade dos vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Já a condutividade eléctrica é usada para medir a quantidade de sais presentes no solo. Quanto maior a quantidade de sais presentes na solução do solo, maior será o valor de condutividade. O excesso de sais na zona radicular, independentemente dos iões presentes, prejudica a germinação, o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Isto porque uma maior concentração da solução, impõe à planta um maior gasto de energia para conseguir absorver água (efeito osmótico) prejudicando os seus processos metabólicos essenciais (Brandão e Lima, 2002).

O desenvolvimento das plantas é afectado directamente pela salinidade do solo (Ayers e Westcot, 1999) em virtude do potencial osmótico gerado pela presença de sais. Assim o rendimento das culturas cai proporcionalmente ao aumento da salinidade do solo (Cerqueira *et al.*, 2008).

O sal que se acumula no solo durante a estação de crescimento pode percolar até aos lençóis de água subterrânea, após a colheita do milho, particularmente durante o Inverno, com grandes chuvadas. Este movimento do sal representa um risco de poluição (Diez *et al.*, 2001).

A aplicação de lamas com pH alcalino, reduz significativamente a absorção de metais pesados pelas plantas, tratando-se de uma medida preventiva que evita a entrada de metais

pesados na cadeia alimentar, segundo Pardus e Nerudová (1985) e Mihalíková *et al.* (2005) citados por Plachá *et al.* (2008).

A deposição de lamas, contendo teores de metais pesados elevados, no solo pode ser prejudicial quer pela sua capacidade de se acumularem nos tecidos animais e vegetais, quer pela influência negativa na qualidade de produtos agrícolas ou animais.

A complexa composição das lamas de suinicultura e problemas associados ditam que os seus efeitos na agricultura e ambiente sejam pré-estabelecidos antes da sua aplicação ao solo. Para avaliar o uso de lamas de suiniculturas e verificar a sua toxicidade é necessário conhecimento acerca do destino e bio-disponibilidade dos seus componentes, prever potenciais caminhos de contaminação e o seu efeito nos organismos. Uma avaliação integrada implica uma avaliação agronómica e ecotoxicológica, posterior ao uso em solos agrícolas (Diez *et al.*, 2001).

As lamas de suinicultura contêm elevadas concentrações de compostos orgânicos e nitrogénio. A agricultura desempenha um papel fulcral a nível de gases de efeito de estufa (GEE) através das emissões provenientes de estrume que podem resultar na libertação incontrolada de metano e de N_2O do solo como resultado da aplicação de fertilizante. Contribuindo com aproximadamente 10% das emissões de GEE na Europa (Banks *et al.*, 2007). A gestão de resíduos de porcos tem uma complexidade variável dependendo de como o resíduo é usado e aplicado. Quando é permitida a deposição directa do resíduo ao solo, a sua gestão é muito simples. No entanto, pode ser bastante complexa quando é requerido um tratamento e o efluente é descarregado em cursos de água ou, até mesmo, usado como

fonte de água para os animais. Na Europa, a gestão do resíduo foca-se na produção de biogás e no encaminhamento do efluente e de lamas para a agricultura (Choi, 2007).

No campo, os produtos podem ser directamente contaminados com a aplicação intencional de estrume bruto como fertilizante ou indirectamente contaminados através da irrigação com água acidentalmente contaminada com estrume bruto. Isto tem consequências sérias em produtos de consumo directo. As maçãs usadas para fazer sidra podem ser contaminadas quando caem no solo fertilizado com estrume. Os patogénicos que se encontram na pele das maçãs podem-se propagar através da cozedura da sidra segundo Besser *et al.* (1993) citado por (Guan e Holley, 2003).

A reciclagem de lamas de suínos em solos agrícolas é uma alternativa e uma prática de grande valor em países como Espanha, que apresenta uma significativa produção de suínos na Europa. Trata-se de um caso particular, visto que são regiões secas, com solos pobres (<1% matéria orgânica) e com intensa mineralização. Reciclar lamas em solos agrícolas adiciona matéria orgânica, nutrientes e micronutrientes, mas também acrescenta substâncias indesejadas tais como: aditivos, pesticidas, produtos farmacológicos e contaminação fecal (Diez *et al.*, 2001).

Numa perspectiva agrícola, é necessário determinar o azoto disponível no solo e também o azoto potencialmente mineralizável (Sanchez *et al.*, 1998). Também a irrigação deve ser ajustada para compensar as perdas por evapotranspiração de modo a minimizar perdas de água por drenagem (Diez *et al.*, 1997). Os potenciais efeitos negativos dos metais pesados adicionados à dieta dos suínos, como micronutrientes, foi demonstrada por Chaudri *et al.*

(1993) e McGrath *et al.* (1999), citados por Diez *et al.* (2001). Assim sendo, foram estabelecidos limites máximos permitidos para metais pesados em solos agrícolas.

Muitos dos dados sobre toxicidade ainda vêm expressos sob a forma de LC_{50} , e a tendência actual vai no sentido de dar mais ênfase a efeitos a longo prazo, especialmente na reprodução. Isto reflecte a crescente preocupação, na população de contaminantes e do seu efeito na reprodução dos organismos de níveis tróficos mais baixos (Van Straalen e Van Gestel 1998).

Segundo Van Gestel e Ma, (1990) é bastante conhecido o facto de que, para muitos compostos orgânicos, a toxicidade está muitas vezes directamente relacionada com o conteúdo em matéria orgânica. A sua biodisponibilidade no solo depende das propriedades do mesmo e de outros factores como a sua capacidade de absorção e adsorção (Van Straalen e Van Gestel 1998), citados por (Diez *et al.*, 2001).

A adição de cal no estrume pode ser vantajosa em solos ácidos, que precisem de ser alcalinizados regularmente (Heinonen-Tanski *et al.*, 2006). O $Ca(OH)_2$ pode ser usado como estabilizador em solos macios para melhorar as propriedades básicas do solo, tais como a compactação (Deng-Fong *et al.*, 2007).

Nos países europeus, a ênfase dada a questões ambientais e o aumento de regulamentação tem variado pouco. No entanto os agricultores de muitos países podem esperar um aumento continuado de regulamentações. Normalmente, os agricultores mostram-se bastante hesitantes em mudar de sistema de gestão até que a regulamentação se torne eficaz ou haja incentivos para a mudança. Em alguns aspectos, mais regulamentação sobre resíduos orgânicos pode ser vantajosa, tais como: definição específica e razoável de critérios

de controlo de qualidade, (ex: como o teor de nutrientes e nível de tratamento de patogénicos). Estes critérios devem ser requeridos para uma certificação das empresas agrícolas com o objectivo de uniformizar um produto que satisfaça determinadas normas e que conduza a um mercado mais estável (Westerman e Bicudo, 2005).

A utilização de resíduos orgânicos no solo como fertilizantes deve ser considerada juntamente com os possíveis impactes ambientais que poderão resultar da aplicação de estrumes, tais como:

- Emissões para a atmosfera de NH_3 , N_2O , CH_4 , H_2S ;
- Poluição de águas superficiais com N, P, M.O, assoreamento e agentes patogénicos;
- Poluição de águas subterrâneas com N, P e agentes patogénicos;
- Acumulação no solo de P, Cu, Zn, Na e sais;
- Acumulação de N na vegetação (Westerman *et al.*, 1983).

Substratos ambientais como o estrume e o solo tornaram-se uma grande preocupação no que diz respeito à segurança alimentar, uma vez que estes substratos são suspeitos de terem um papel importante na introdução de agentes patogénicos para o ser humano (Wang e Doyle, 1998; Natvig *et al.*, 2002; Solomon *et al.*, 2002). Por exemplo, a *Salmonella* é muitas vezes associada a estrume (Pell, 1997; Lettelier, 1999; Natvig *et al.*, 2002; Franz *et al.*, 2005), citados por Klerks *et al.* (2006) que é muitas vezes aplicado como fertilizante a um solo, antes da produção hortícola, introduzindo, assim, um potencial risco de contaminação aos vegetais cultivados nesse mesmo solo.

Um melhor conhecimento e educação do público e dos agricultores, acerca dos benefícios de uma boa gestão e utilização de resíduos orgânicos na agricultura, são importantes para

diminuir receios e ideias pré-concebidas de incómodo público, diminuição do valor das terras e degradação ambiental (Westerman e Bicudo, 2005).

3.4 Microrganismos

O controlo virulógico, parasitológico e bacteriológico, é indicador da qualidade de uma lama e pode ser realizado através da detecção de microrganismos patogénicos. O nível de patogénicos no estrume depende da origem do animal, do seu estado de saúde e da maneira como o estrume foi armazenado ou tratado, antes de ser usado (Venglovsky *et al.*, 2006).

Os microrganismos patogénicos, em água residual e lamas, são geralmente associados a sólidos insolúveis (Farrell *et al.*, 1990) e uma vez no meio ambiente, acarretam o risco de infecções para o homem e animais pelo contacto com águas contaminadas, bem como com o solo, onde as lamas tenham sido aplicadas (Bujoczek *et al.*, 2001).

Segundo os autores Heinonen-Tanski *et al.* (2006), os microrganismos que melhor servem de índice de contaminação fecal são *Escherichia Coli* e coliformes fecais. Existem métodos eficazes e precisos para determinar *Escherichia Coli* e coliformes fecais em composto, lamas e estrume. De acordo com Guan e Holley (2003), os microrganismos patogénicos mais importantes que devem ser considerados são *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*, *Cryptosporidium* e *Giardia*.

Novas e emergentes bactérias patogénicas incluem *Escherichia coli* O157:H7, *Helicobacter pylori* e *Listeria montocytogenes*. Todas elas podem ser encontradas em águas residuais. A *Escherichia coli* e a *Listeria montocytogenes* são conhecidas pela sua capacidade de

sobrevivência na digestão anaeróbia e podem crescer após aplicação no solo. Os protozoários parasitas: *Giardia*, *Cryptosporidium* e *Cyclospora* dificilmente sobrevivem às temperaturas atingidas durante a digestão mesofílica ou durante a secagem que ocorre após adição ao solo. De todos os patogénicos emergentes, os vírus entéricos representam maior risco devido à sua resistência ao calor, a elevados pH's e por apresentarem uma sobrevivência alargada Regli *et al.* (1991) citado por Gerba *et al.* (2002).

Muitas bactérias patogénicas encontram-se em estrumes, sendo as mais importantes para a saúde humana a *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157 H7, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica* e *Clostridium perfringens*. Mais de 140 vírus entéricos podem ser transmitidos pelas lamas, sendo o Calicivirus, Adenovirus, Hepatitis A e E, Astrovirus e Rotavirus de especial preocupação (Venglovsky *et al.*, 2006).

Visto que a fonte de contaminação de muitas doenças é incerta, os riscos de um inadequado manuseamento do estrume é provavelmente muito subestimado (Guan e Holley, 2003).

Os microrganismos patogénicos podem perdurar em estrume líquido por bastante tempo, dependendo das condições de armazenamento, tipo de lamas, temperatura de armazenamento e tipo de patogénico. Serão inactivados depois da exposição ao ambiente mas podem sobreviver tempo suficiente para se tornarem uma preocupação para a saúde pública e animal. Os principais factores que influenciam a sua inactivação são a temperatura, e os UV (Venglovsky *et al.*, 2006).

Efeitos no aumento da produção de estrume não são quantificáveis no que se refere ao resultado na saúde humana. A sobrevivência de organismos patogénicos no solo, estrume e água indica uma significativa variabilidade na sua resistência aos desafios do ambiente,

característica dos próprios organismos. Geralmente, os microrganismos patogênicos sobrevivem melhor em amostras com temperaturas mais frias, tendo sido também observadas diferenças significativas entre estrume líquido e sólido (Guan e Holley, 2003).

Escherichia Coli é a bactéria Gram-negativa anaeróbia facultativa, dominante na flora entérica dos mamíferos e das aves (Singer *et al.*, 2003). Podendo causar infecções graves em pacientes imunodeprimidos (infecções genito-urinárias, peritonites, colecistites, pneumonias e meningites neonatais), quando o teor do inóculo é elevado ou existem associações com outros microrganismos (Russo e Johnson, 2003). As estirpes patogênicas, responsáveis por diversas infecções intestinais e extra-intestinais, possuem diversos agentes de virulência codificados em plasmídeos, bacteriófagos ou mesmo no cromossoma bacteriano, formando variados grupos de fisiopatogênicos (McEwen e Fedorka-Cray, 2002; Whitlock *et al.*, 2002) citados por Da Costa *et al.* (2006).

No estudo efectuado por Harrison *et al.* (2005), a *Escherichia coli* foi seleccionada devido às elevadas concentrações presentes em resíduos fecais, alta termotolerância e a sua sobrevivência nos resíduos.

A *Escherichia coli* e a *Enterococci* são mais resistentes que a *Salmonella*, sendo menos resistentes que os ovos dos nemátodos (Duarte e Reis s.d.). A *Salmonella* e a *Escherichia coli* estão muito próximas uma da outra tendo em conta as características fisiológicas (Heinonen-Tanski *et al.*, 2006).

Niewolak (1994) relata que os microrganismos *Escherichia coli* e *Salmonella* que chegam ao solo através da aplicação de lamas contaminadas de porcos podem penetrar até 160-180 cm de profundidade. Henry *et al.* (1995) isolaram a *Salmonella* a partir de pastagem aos 2 meses

e a partir do solo aos 8 meses, após a aplicação de lamas contaminadas de porcos. Daí ser necessário garantir a higienização das lamas contaminadas. Citados por (Venglovsky *et al.*, 2006).

A *Escherichia coli* é uma bactéria que está implicada em sintomas como diarreia, colites hemorrágicas e síndrome hemolítico urémico. Esta bactéria é comum em lamas e apresenta potencial para recrescer, assim, é importante avaliar a sua sobrevivência nas mesmas (Venglovsky *et al.*, 2006).

Segundo Sáenz *et al.* (2001), a reconhecida aptidão da *Escherichia coli* para aceitar e transmitir genes de resistência, mesmo relativamente a bactérias filogeneticamente afastadas, confere-lhe uma enorme importância ecológica na dispersão destes genes (Da Costa *et al.* 2006).

Escherichia coli O157:H7 reside por mais tempo em estrume do que no animal, assim sendo, o estrume contaminado é verdadeiramente uma fonte de infecção permanente para os animais Kudva *et al.* (1998) citados por Guan e Holley (2003).

Wang *et al.* (1996) afirmam que a *Escherichia coli* O157:H7 em fezes de bovinos sobrevive 42 a 49 dias, a 37°C, 49 a 56 dias a 22°C e 63 a 70 dias a 5°C. E segundo Kudva *et al.* (1998) a mesma pode sobreviver até 47 dias, 4 meses e 21 meses em estrume de bovino, em estrume de ovino, com e sem arejamento, respectivamente, citados por (Venglovsky *et al.*, 2006).

Registado por Nelson (1997), está o incidente de *Escherichia coli* O157:H7 em alface, cultivada por métodos de agricultura biológica, contaminada através do uso de estrume bruto contendo *Escherichia coli*, bem como, infecções com *Citrobacter freundii* associadas à

salsa proveniente de um jardim ecológico onde foi usado estrume de suínos (Tschäpe *et al.*, 1995) citados por (Guan e Holley, 2003).

No Japão foi relatada uma taxa de incidência da *Escherichia coli* O157:H7 de 1,4%, em porcos (Nakazawa *et al.*, 1999). Numa inspecção feita a porcos em Inglaterra, foi isoladas *Escherichia coli* O157:H7 não toxinogénica em 0,4% de amostras fecais, recolhida em 1000 porcos após morte (Chapman *et al.*, 1997). Um estudo canadiano realizado por Read *et al.* (1990) citados por Guan e Holley (2003) relata a prevalência de não-O157:H7 *Escherichia coli* (estirpes de *Escherichia Coli* toxinogénica, que têm como característica a produção das toxinas Shiga, causadoras de infeções em humanos transmitidas através da ingestão de água e alimentos contaminados) em 10,6% de amostras de porco recolhidas em fábricas de processamento de carne, em Ontário, e alguns dos serotipos isolados têm sido associados a doenças em humanos.

De acordo com o estudo de Guan e Holley (2003), sob condições controladas em laboratório, os patogénicos sobreviveram pelo menos 100 dias em estrume de bovino congelado a -20°C e 100 dias em estrume de ovino incubado a 4°C ou 10°C. Estando os seus resultados em concordância com resultados obtidos anteriormente: *Escherichia coli* O157:H7 sobreviveu por 70 dias a 5°C, 56 dias a 22°C e 49 dias a 37°C (Wang *et al.*, 1996). Em lama líqüida de suínos, *Salmonella senftenberg* sobreviveu por 14 dias a 8°C, 8 dias a 20°C e <8 dias a 37°C. *Campylobacter jejuni* sobreviveu por 3 dias em fezes e estrume líqüido de gado e 2 dias em estrume líqüido de suínos à temperatura ambiente (Mitscherlich e Marth, 1984). Estas descobertas enfatizam a importância de espalhar o estrume nos campos apenas nos meses de calor (Guan e Holley, 2003).

A *Salmonella* é um patogénico que produz uma endotoxina causadora de febre, náuseas e diarreia, podendo ser fatal se não for devidamente tratada com antibióticos (Bitton, 1994) citado por (Plachá *et al.*, 2008).

Citado por (Venglovsky *et al.*, 2006), Strauch (1987) relata que 90% da redução de *Salmonella* está associada com a diminuição de pH no substrato. A diminuição de pH durante a armazenagem é influenciada pela flora natural bacteriana que produz ácidos gordos que apresentam efeitos tóxicos sobre a bactéria.

A *Salmonella* é conhecida por sobreviver durante vários meses em chorume armazenado, até 6 meses em pastos de vacas e até 100 dias em chorume aplicado na relva (Mawdsley, 1993). De acordo com o autor Maule (1998), a *Escherichia coli* O157:H7 pode sobreviver por mais de 56 dias em fezes frescas de gado e em dejectos de bovinos a 18°C, por 9 dias. Kudva *et al.* (1998) também observaram a longevidade da *Escherichia coli* O157:H7 sendo que esta pode sobreviver durante 21 meses numa pilha de estrume. Himathongkham *et al.* (1999) verificaram que o tempo de sobrevivência da *Escherichia Coli* O157 e *Salmonella typhimurium* em estrume de vaca e chorume foi dependente da temperatura e variou de 6 dias a 3 semanas no estrume e 2 dias a 5 semanas em chorume, citados por (Turner, 2002).

Larsen e Munch (1986) verificaram que *Salmonella Typhimurium* sobreviveram em lamas de suínos e bovinos armazenadas a 8° C por mais de 10 semanas com, apenas, um pequeno decréscimo de 10^6 para 10^4 /ml. *Yersinia enterocolitica* foi destruída por volta da semana 6, enquanto que *Staphylococcus aureus* foi reduzida de 10^6 para 10^2 / ml em 9 semanas. Na fracção sólida da lama de porco, *Salmonella Typhimurium* sobreviveu durante 26 dias no Verão e 85 dias no Inverno, segundo Plachá *et al.* (2001), e os coliformes foram reduzidos

em 90% em 35 e 233 dias durante o Verão e o Inverno, respectivamente (Venglovsky *et al.*, 2006).

Documentado por Jenkins *et al.* (1999) está o aumento da inactivação de *Cryptosporidium parvum*, à medida que a temperatura aumenta de 35°C para 50°C e há diminuição do potencial da água citado por (Venglovsky *et al.*, 2006).

Um estudo, efectuado por Fleming (1999) sobre quintas de animais em Ontário no ano de 1996 demonstrou que *Cryptosporidium* prevalece em estrume de suínos, em detrimento de estrume de vacarias. Este estudo demonstrou que 26% das amostras de estrume líquido dos suínos deram positivo para o protozoário, comparando com os 8,1% em estrume sólido e 7,3% de estrume líquido de vacarias (Guan e Holley, 2003).

Helminths são talvez os microrganismos patogénicos entéricos mais persistentes. Sobrevivem nos solos durante anos, sendo que há uma diminuição da sua sobrevivência em solos muito húmidos ou muito secos, de acordo com Straub *et al.* (1993) e Varadyova *et al.* (2001) citados em (Venglovsky *et al.*, 2006).

Segundo Guan e Holley (2003), o estrume de porco é também conhecido pela sua capacidade em albergar o microrganismo patogénico *Yersinia enterocolitica*.

Um pH de 10 e uma temperatura de 10°C, segundo Allievi *et al.* (1994), são suficientes para a inactivação de bactérias. A temperaturas abaixo de 5°C, não foi detectado o efeito da amónia nos vírus. Höglund *et al.* (2002) não detectaram a redução de *Salmonella typhimurium* na urina a 5°C e com pH de 9, durante seis meses. No entanto, à temperatura

de 20°C, a redução decimal foi de 71 dias. Os ovos de *Ascaris suum* são resistentes face à maioria dos tratamentos de desinfecção (Vinneras *et al.*, 2003).

Em geral, patogénicos zoonóticos parecem sobreviver mais tempo na água seguindo-se o solo e o estrume. Em cada um destes ambientes, eles sobrevivem melhor a baixas temperaturas do que a altas temperaturas (Guan e Holley, 2003).

A calagem é um processo eficaz na inactivação de microrganismos patogénicos, tais como: *Salmonella* e ovos de nemátodes (*Ascaris suum*) (Duarte e Reis, s.d.).

Vários estudos têm demonstrado que a calagem apresenta uma necessidade de pH estável entre 12,00 e 12,60, por 20-60 dias para a eliminação da *Salmonella* e ovos viáveis de nemátodes, segundo Gantzer *et al.* (2001), citado por Plachá *et al.* (2008).

O uso de cal origina aumento de pH, que por sua vez inactiva células microbianas e vírus. A amónia libertada a pH elevado (acima de 10) é também inibidora de muitas bactérias entéricas (Heinonen-Tanski *et al.*, 2006).

Para a estabilização de lamas ser eficaz, o pH deve chegar aos 12, em duas horas. Tais condições originam uma redução de bactérias em 3-6 log₁₀ Venosa (1986). De acordo com Pedersen (1983), um pH acima de 10,5 aponta para uma efectiva inactivação de bactérias. Se o pH chegar aos 12,8, a estabilização das lamas inactiva por completo *Salmonella Seftenberg*, em 3 horas (Pfuderer, 1985; Jepsen *et al.*, 1997; Plachá *et al.*, 2008).

Os microrganismos patogénicos têm a capacidade de perdurar dias, semanas ou meses, dependendo do microrganismo, do meio e das condições do mesmo (Sobsey *et al.*, s.d.).

A competição com outros microrganismos activos na lama pode também afectar espécies de patogénicos. E, portanto, um armazenamento a temperaturas de 20-22°C, promove este tipo de comportamento dado o aumento da actividade bacteriana (Bujoczek *et al.*, 2001).

4 CASO DE ESTUDO

As recolhas das amostras de lama foram feitas na exploração de suínos de Manuel R. Cândido, LDA, Alcanhões, Santarém.

Na Figura 4.1 está representada a instalação para os leitões existentes na exploração.



Figura 4.1- Imagem das instalações dos leitões na exploração.

Na exploração de suínos em causa, o tratamento do efluente no digestor anaeróbio, funciona à temperatura ambiente seguido de um separador de sólidos. Posteriormente o efluente é tratado num conjunto de lagoas em serie. A fase sólida é recolhida num atrelado que se encontra por baixo do separador de sólidos. Na recolha efectuada, verificou-se que as lamas retiradas do digestor correspondiam à mistura das lamas de fundo e superfície. Na Figura 4.2, apresenta-se a imagem de uma das lagoas existentes na suinicultura onde o efluente é tratado.



Figura 4.2 – Imagem de uma das lagoas da exploração.



Figura 4.3 – Imagem do digestor anaeróbio.

A Figura 4.3 mostra o digestor anaeróbio, com acumulação de biogás visto este não estar a ser aproveitado por motivos técnicos. O digestor encontra-se confinado para minimizar odores.

5 METODOLOGIA

5.1 Plano de Amostragem

O trabalho iniciou-se em Fevereiro de 2008 e terminou em Março de 2009, sendo que as recolhas e a parte experimental foram realizadas entre Julho e Março de 2009.

As recolhas de amostra foram realizadas dia 2 de Julho, dia 20 de Outubro e dia 3 de Dezembro. A recolha da amostra efectuou-se à saída do crivo, ilustrado na Figura 5.1, usado para a separação da fase sólida da líquida. Este encontra-se localizado depois do digestor anaeróbio.



Figura 5.1 - Imagem do crivo que separa fase líquida da sólida.

A amostra foi retirada do atrelado que se encontrava por baixo do crivo, com uma pá e colocada em sacos fechados, conforme ilustra a Figura 5.2.



Figura 5.2 - Imagem do atrelado e separador de sólidos.

A lama fresca recolhida corresponde, assim, à fase sólida. Efectuou-se a caracterização físico-química da lama fresca no dia da recolha. As amostras foram mantidas na câmara frigorífica a 4°C até se proceder às respectivas misturas, tendo sido retiradas da câmara no dia anterior à sua análise. As misturas com cal viva para os diferentes ensaios laboratoriais foram executadas alguns dias após a recolha, devido a condicionantes no laboratório. No decorrer do trabalho foram efectuados três ensaios laboratoriais, tendo-se usado a seguinte designação: ensaio laboratorial 0 (EL0), ensaio laboratorial 1 (EL1) e ensaio laboratorial 2 (EL2).

EL0 é um pré-ensaio realizado para avaliar as doses escolhidas e o seu desempenho na validação das premissas. No EL1 e EL2 realizaram-se análises ao pH e temperatura, de modo a aferir-se acerca da sua influência nas diferentes misturas de CaO preparadas, para verificarmos a concordância com as premissas estudadas.

Nos ensaios de laboratório começou-se por homogeneizar a lama fresca. Para um estudo mais abrangente da mesma, retirou-se uma amostra representativa e realizou-se uma análise físico-química, onde se analisaram os parâmetros: pH, *Escherichia Coli*, condutividade, HU e SV.

Posteriormente, procedeu-se às respectivas misturas, nas quais se estudaram os parâmetros pH, temperatura, *Escherichia Coli* e os parâmetros de controlo, condutividade, HU e SV, de modo a se alcançar a validação das premissas propostas nos objectivos.

5.2 Métodos analíticos para caracterização físico-química

A caracterização físico-química da lama foi efectuada de acordo com os métodos propostos pelas normas do Comité Europeu de Normalização e de acordo com o Projecto Horizontal - lamas, resíduos orgânicos e solo, documento preparado por CEN/BT/Task Force 151 (2005).

5.2.1 pH

O pH foi determinado segundo a EN12176, numa suspensão de 5g em 50 ml de água destilada, com a seguinte alteração: uma hora de agitação em placa magnética com o recipiente fechado utilizando-se um eléctrodo apropriado (Sartorius). Uma ilustração desta descrição é representada na Figura 5.3.



Figura 5.3 - Aparelho para medição de pH.

5.2.2 Condutividade

A condutividade eléctrica é uma expressão numérica da capacidade que uma solução aquosa tem para transportar corrente eléctrica. Na amostra a condutividade foi determinada segundo o Projecto Horizontal.

A condutividade foi determinada no sobrenadante de uma suspensão de 5 g de amostra em 50 ml de água destilada. A agitação era realizada durante uma hora em placa magnética com um Eléctrodo Orion 4 STAR, utilizando-se também um recipiente fechado. Uma ilustração desta descrição é representada na Figura 5.4.

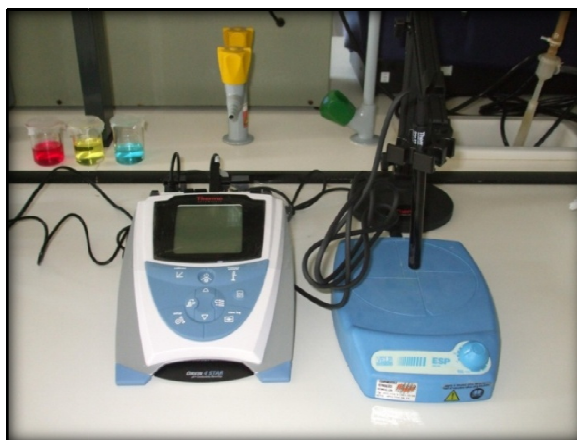


Figura 5.4 - Aparelho para medição da condutividade.

5.2.3 Temperatura

Para o EL0, as medições de temperatura foram efectuadas com recurso a um termómetro que era introduzido nas diferentes misturas de lama com cal.

No EL2, as temperaturas foram recolhidas através de sondas colocadas nas diferentes misturas, estando estas ligadas a uma unidade de aquisição de dados (modelo Delta Logger, da Delta T Devices, Bruwell, Cambridge, Reino Unido) que recolhia de hora a hora os dados da temperatura. As sondas foram colocadas sensivelmente a meio dos recipientes cilíndricos com capacidade de conservar a temperatura, representados na Figura 5.5.



Figura 5.5 - Representação dos recipientes cilíndricos.

5.2.4 Humidade

A determinação do teor de humidade baseou-se na EN 12880, tendo-se feito três réplicas com cerca de 200 g de amostra, que foram secas, numa estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ conforme a Figura 5.6.



Figura 5.6 - Estufa.

5.2.5 Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis foram determinados segundo a EN 12879. Assim pesaram-se 5 g de amostra seca e colocou-se na mufla durante três horas a 550°C, conforme Figura 5.7.



Figura 5.7- Mufla com amostras.

5.3 Método analítico para a caracterização microbiológica

A quantificação de *Escherichia Coli* foi executada segundo a ISO 9 308 - 1:2000. Assim, procedeu-se à elaboração do meio de cultura (TSA), pesou-se com uma espátula estéril 50 g de amostra para um balão Erlenmeyer de 1000 ml, adicionou-se 450 ml de água desmineralizada estéril, agitou-se durante 30 minutos e efectuaram-se as diluições previamente estabelecidas. Posteriormente, procedeu-se à filtração das amostras mais diluídas, usando para o efeito uma rampa de filtração e membranas estéreis com porosidade 0,45 μm , conforme a Figura 5.8.



Figura 5.8 - Rampa de filtração.

Depois deste procedimento, colocaram-se as membranas à superfície de placas de Dalmau com meio TSA e incubaram-se durante cinco horas a 37°C e 20 horas a 44°C. Após a incubação contaram-se o número total de colónias e retiraram-se os filtros (com uma pinça), colocando-se num tabuleiro sobre uma folha de papel de filtro Whatman. De seguida, verteu-se o reagente de Elrich até embeber os filtros e fez-se incidir luz U.V, no escuro,

durante 10 minutos. Por fim, contaram-se as colónias que se encontravam nos filtros e que apresentavam uma coloração rosa, sendo essas as colónias de *Escherichia Coli*.

5.4 Determinação da pureza da cal

A pureza da cal comercial foi determinada a partir de uma análise por espectroscopia de emissão atómica. No EL0 foi usada uma cal comercial e nos ensaios EL1 e EL2 foi usada outra cal comercial.

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

6.1 Caracterização da lama fresca

6.1.1 pH

No Quadro 6.1, apresentam-se os resultados de pH para os três ensaios, tendo sido efectuada uma média aritmética das réplicas.

Quadro 6.1 - Valores de pH da lama fresca.

Ensaio laboratorial	Amostra	Peso inicial (g)	pH	Média
ELO	A0	5,17	8,37	8,39
	B0	5,04	8,40	
EL1	A1	5,48	8,71	8,71
	B1	5,59	8,69	
	C1	5,54	8,73	
EL2	A2	5,69	8,92	8,92
	B2	5,79	8,92	
	C2	5,34	8,91	

Os valores de pH não apresentam grande variação entre réplicas. O valor mais díspar pertence ao ensaio em que a recolha foi efectuada em Julho, com condições climatéricas mais quentes.

6.1.2 Microrganismos

A determinação do microrganismo *Escherichia Coli*, foi feita para avaliar a capacidade das diferentes quantidades de cal adicionadas na inactivação do microrganismo, de modo a potenciar a sua aplicação ao solo.

No Quadro 6.2, apresentam-se os números de colónias de *Escherichia Coli* existentes na lama fresca, para as diferentes diluições.

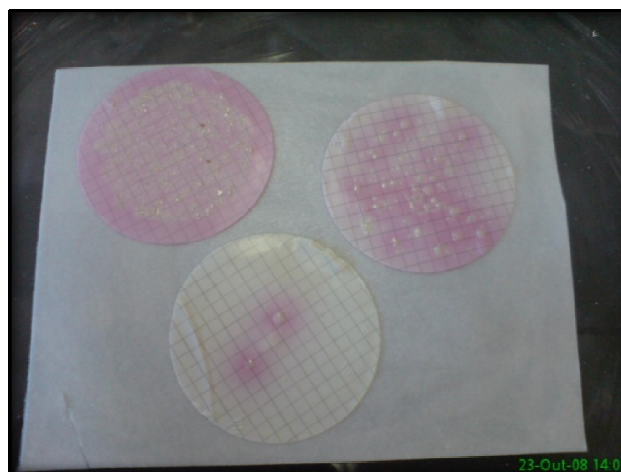
Quadro 6.2 - Número de colónias na lama fresca para as diferentes diluições.

Ensaio laboratorial	<i>Escherichia Coli</i>				
	Número de colónias na lama fresca				
	Dil. 10^{-1}	Dil. 10^{-2}	Dil. 10^{-3}	Dil. 10^{-4}	Dil. 10^{-5}
EL1	-	Incontável	100	2	-
EL2	Incontável	Incontável	208	16	1

No EL1 o filtro mais representativo foi o filtro com diluição de 10^{-3} , obtendo-se 9×10^5 UFC/g amostra húmida.

No EL2 o filtro mais representativo foi o filtro com diluição de 10^{-3} obtendo-se $22,5 \times 10^4$ UFC/g amostra húmida.

Ilustrados na Figura 6.1 estão os filtros com as colónias de *Escherichia Coli*, possíveis de serem quantificadas, no EL1.

Figura 6.1 - Exemplo de colónias de *Escherichia Coli*, no EL1.

Ilustrados na Figura 6.2, estão os filtros com as colónias de *Escherichia Coli* mais representativos, no EL2.

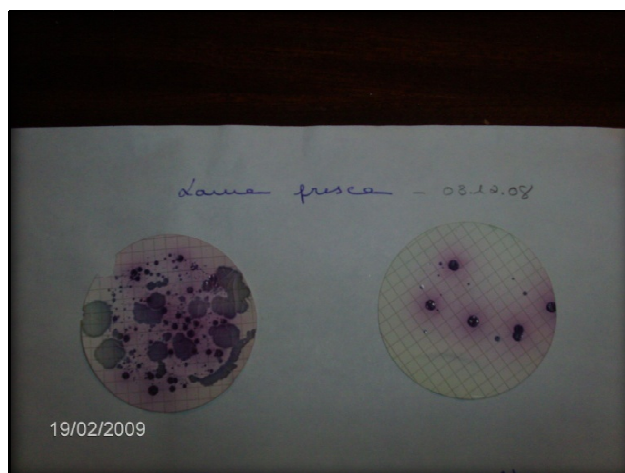


Figura 6.2 - Exemplo de colónias de *Escherichia Coli*, no EL2.

6.1.3 Condutividade

Apresentados no Quadro 6.3 estão os valores de condutividade em $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, obtidos na análise da lama fresca para os diferentes ensaios.

Quadro 6.3 - Valores de condutividade.

Ensaio laboratorial	Amostra	Condutividade ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	Média
EL0	A0	1764	1751,50
	B0	1739	
EL1	A1	1299	1298,33
	B1	1305	
	C1	1291	
EL2	A2	1412	1386,33
	B2	1412	
	C2	1335	

A condutividade apresenta duplicados e triplicados razoáveis, dado que a amostra é bastante homogénea. Pode verificar-se novamente a discrepância entre o EL0 e os ensaios EL1 e EL2.

6.1.4 Humidade

O peso seco (PS) e a humidade das amostras para a caracterização da lama fresca estão apresentados no Quadro 6.4. As réplicas são bastante boas, representativos da homogeneidade da amostra.

Quadro 6.4 - Peso seco e humidade da lama fresca.

Ensaio laboratorial	Amostra	PS	Média	Hu	Média
EL0	A4	24,69	25,20	75,31	74,80
	A3	25,61		74,39	
	A1	25,38		74,62	
	A2	25,12		74,88	
EL1	55	24,63	24,92	75,37	75,08
	97	25,03		74,97	
	100	25,10		74,90	
EL2	62	21,49	21,51	78,51	78,49
	48	21,45		78,55	
	81	21,60		78,40	

Obtiveram-se valores de peso seco para lama fresca concordantes com os resultados alcançados por (Duarte e Reis, s.d.), relativamente a lama sólida proveniente de ETAR.

6.1.5 Sólidos Voláteis

O Quadro 6.5 apresenta os valores obtidos nos diferentes ensaios de sólidos voláteis, em percentagem.

Quadro 6.5 – Teor de sólidos voláteis.

Ensaio laboratorial	Cadinho	SV (%)	Média
EL0	D	80,80	82,30
	G	83,40	
	F	84,60	
	H	80,40	
EL1	12	68,13	68,00
	18	67,31	
	XXI	68,56	
EL2	V	81,32	81,27
	12	80,81	
	1	81,68	

A lama fresca recolhida em Outubro (EL1) apresenta os valores mais baixos de matéria orgânica. Estes valores podem ser explicados pelo facto de a lama estar no digestor anaeróbio há muito tempo por problemas técnicos na separação posterior da fase sólida.

6.2 Caracterização das misturas

Foram calculadas as reais concentrações de cal utilizadas de acordo com a sua pureza, após a realização dos três ensaios. A cal usada no EL0 apresentava uma pureza de 50% e a cal usada nos EL1 e EL2 uma pureza de 75%. Desta forma, obteve-se as concentrações reais da cal em percentagem apresentadas no Quadro 6.6.

Quadro 6.6 - Valores de percentagem de cal corrigidas.

EL0		EL1		EL2	
A	B	A	B	A	B
3	2	-	-	-	-
15	8	-	-	15	12
30	16	30	25	30	24
45	24	45	37	45	37

Legenda: A→ percentagem de cal inicial e B→ percentagem de cal corrigida de acordo com a pureza.

6.2.1 pH

De acordo com o Quadro 6.7, no qual se encontram os valores de pH obtidos no EL0 e em que se usou uma cal diferente dos EL1 e EL2, é possível verificar o decaimento de pH ao longo das 243 horas, que pode dever-se à qualidade da cal ou às baixas concentrações de cal usada. Alguns autores obtiveram resultados semelhantes para lamas de ETAR's (Duarte e Reis, s.d.; Burns *et al.*, 2007; Aasheim *et al.*, 1985).

Quadro 6.7- pH da mistura do EL0.

Tempo (h)	pH			
	EL0			
	[Cal] 2%	[Cal] 8%	[Cal] 16%	[Cal] 24%
0	10,51	12,25	12,35	12,34
3	9,55	12,12	12,44	12,47
24	9,10	11,99	12,25	12,32
27	9,05	11,84	12,39	12,30
48	9,04	10,72	12,16	12,23
51	8,95	10,22	12,17	12,26
72	8,91	8,78	11,97	12,25
75	8,85	8,71	11,91	12,28
144	8,25	9,40	10,50	10,64
147	8,30	9,02	10,22	12,14
168	8,20	8,30	10,82	12,02
171	8,09	8,26	10,99	12,00
192	8,20	8,25	10,57	12,08
195	-	-	10,50	12,18
216	-	-	10,54	12,06
219	-	-	10,34	12,03
240	-	-	10,54	11,97
243	-	-	10,33	12,00

As misturas com as concentrações de 2% e 8% foram interrompidas, ao fim de 192 horas, por apresentarem valores de pH de 8, não compatíveis com os requisitos propostos nos objectivos da dissertação. Verificou-se, assim, uma diminuição progressiva do pH.

No Quadro 6.8 são apresentados os valores de pH para os EL1 e EL2, que decorreram ambos até um período de 90 dias.

Quadro 6.8 - pH da mistura do EL1 e EL2.

Tempo (h)	pH				
	[Cal] 12%	[Cal] 25%	[Cal] 24%	[Cal] 37%	[Cal] 37%
	EL2	EL1	EL2	EL1	EL2
0	12,57	12,67	12,69	12,62	12,80
2	12,55	12,57	12,67	12,61	12,74
6	12,54	12,58	12,69	12,58	12,75
24	12,55	12,64	12,70	12,62	12,78
168	12,23	12,56	12,47	12,57	12,68
336	12,44	12,52	12,66	12,55	12,65
720	12,13	12,51	12,69	12,57	12,67
1440	9,37	12,63	12,69	12,65	12,67
2160	9,31	12,62	12,53	12,68	12,58

O armazenamento prolongado com CaO em condições anóxicas, retarda o decaimento natural do pH nas lamas, assegurado pela libertação de NH_3 para a matriz das lamas que não se perdeu através de volatilização (Bujoczek *et al.*, 2001). Este facto pode explicar a permanência do pH a 12, no EL1 e EL2, para as concentrações de 25% e 37%.

No entanto, para uma concentração de 12%, o pH manteve-se a 12 até, pelo menos, às 720 horas. No entanto, na medição feita às 2160 horas, o pH já se encontrava a 9,31 e com tendência para baixar.

6.2.2 Temperatura

O Quadro 6.9 apresenta os valores obtidos para a temperatura no EL0, para as quatro concentrações de cal, com medições diárias feitas todos os dias num período de 240 horas.

Quadro 6.9 - Temperatura do ELO.

Tempo (h)	Temperatura (°C) - ELO			
	[Cal] 2%	[Cal] 8%	[Cal] 16%	[Cal] 24%
0	24	25	23	21
20	22	21	21	21
24	21	21	21	21
44	23	23	22,5	23
48	23	23,5	23	23,5
68	23	23,5	23	23,5
72	23,5	23,5	23,5	24
140	24	24	24,5	25
144	25	25	25	25
164	25	26	25	25
168	25	26	25,5	25,5
188	25	25,5	25	25,5
192	25	26	25	25,5
212	26	26,5	26,5	26,5
216	27	27	26,5	27
236	26	26,5	26	26
240	26	28,5	26,5	26,5

Analisando-se o Quadro 6.9 e a Figura 6.3, é possível verificar-se que não houve o aumento esperado de temperatura, aquando da adição de cal em nenhuma das concentrações.

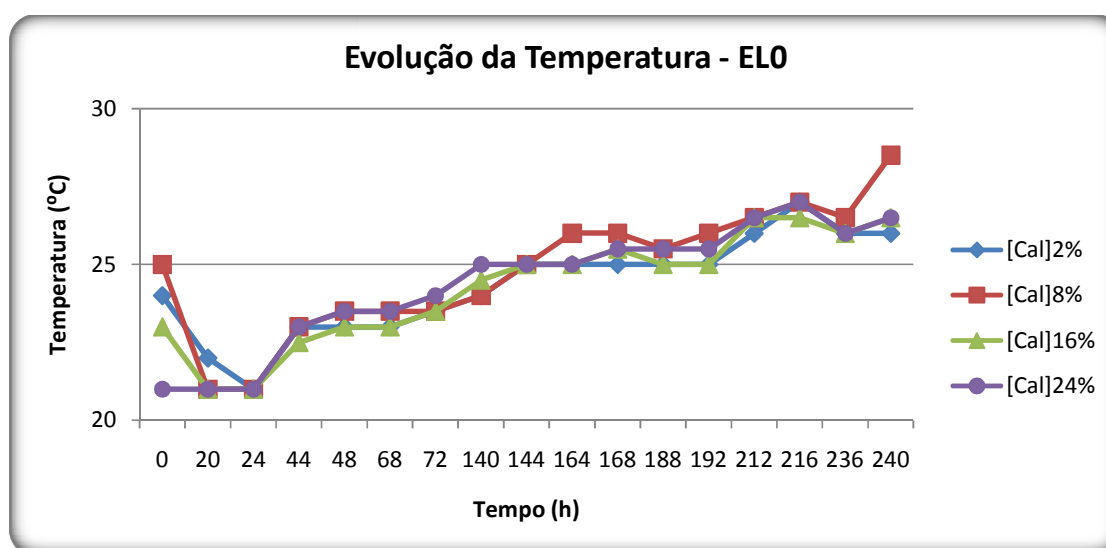


Figura 6.3 - Evolução da temperatura com a variação da concentração de cal, do ELO.

A temperatura registada no ensaio não evidenciou o aumento inicial que seria de esperar, originado pela reacção exotérmica. Este facto pode dever-se à fraca acção da cal, em termos de temperatura.

O Quadro 6.10 apresenta os valores de temperatura registados por sondas no EL2, durante um período de 24 horas, verificando-se, assim, a capacidade da cal para aumentar a temperatura.

Quadro 6.10 - Valores de temperatura do EL2.

Tempo (h)	Temperatura (°C) - EL2								
	[Cal] 12%			[Cal] 24%			[Cal] 37%		
	Sonda 3	Sonda 4	Média	Sonda 5	Sonda 6	Média	Sonda 7	Sonda 10	Média
0	16,07	16,19	16,13	16,03	16,03	16,03	16,07	16,07	16,07
1	24,97	23,55	24,26	31,91	30,29	31,10	37,80	37,91	37,86
2	24,24	23,26	23,75	29,82	27,92	28,87	33,06	33,40	33,23
3	22,83	22,10	22,47	26,79	25,08	25,94	28,35	28,79	28,57
4	21,55	21,11	21,33	24,27	22,86	23,57	24,89	25,33	25,11
5	20,54	20,24	20,39	22,33	21,20	21,77	22,47	22,93	22,70
6	19,70	19,52	19,61	20,93	19,92	20,43	20,81	21,20	21,01
7	19,06	18,92	18,99	19,84	19,01	19,43	19,60	19,95	19,78
8	18,55	18,44	18,50	19,06	18,31	18,69	18,76	19,09	18,93
9	18,12	18,04	18,08	18,44	17,79	18,12	18,14	18,41	18,28
10	17,77	17,74	17,76	17,94	17,38	17,66	17,69	17,91	17,80
11	17,50	17,48	17,49	17,60	17,06	17,33	17,35	17,55	17,45
12	17,28	17,26	17,27	17,31	16,80	17,06	17,09	17,26	17,18
13	17,09	17,09	17,09	17,06	16,60	16,83	16,87	17,02	16,95
14	16,92	16,92	16,92	16,85	16,41	16,63	16,68	16,80	16,74
15	16,77	16,77	16,77	16,68	16,24	16,46	16,51	16,63	16,57
16	16,63	16,63	16,63	16,51	16,09	16,30	16,36	16,46	16,41
17	16,48	16,51	16,50	16,36	16,03	16,20	16,22	16,31	16,27
18	16,36	16,39	16,38	16,24	16,03	16,14	16,09	16,19	16,14
19	16,24	16,26	16,25	16,09	16,03	16,06	16,03	16,05	16,04
20	16,12	16,14	16,13	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03
21	16,14	16,14	16,14	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03
22	16,14	16,14	16,14	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03
23	16,09	16,12	16,11	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03
24	16,12	16,14	16,13	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03	16,03

A Figura 6.4 mostra a evolução da temperatura ao longo de 24 horas no EL2 e nas três concentrações de cal usadas.

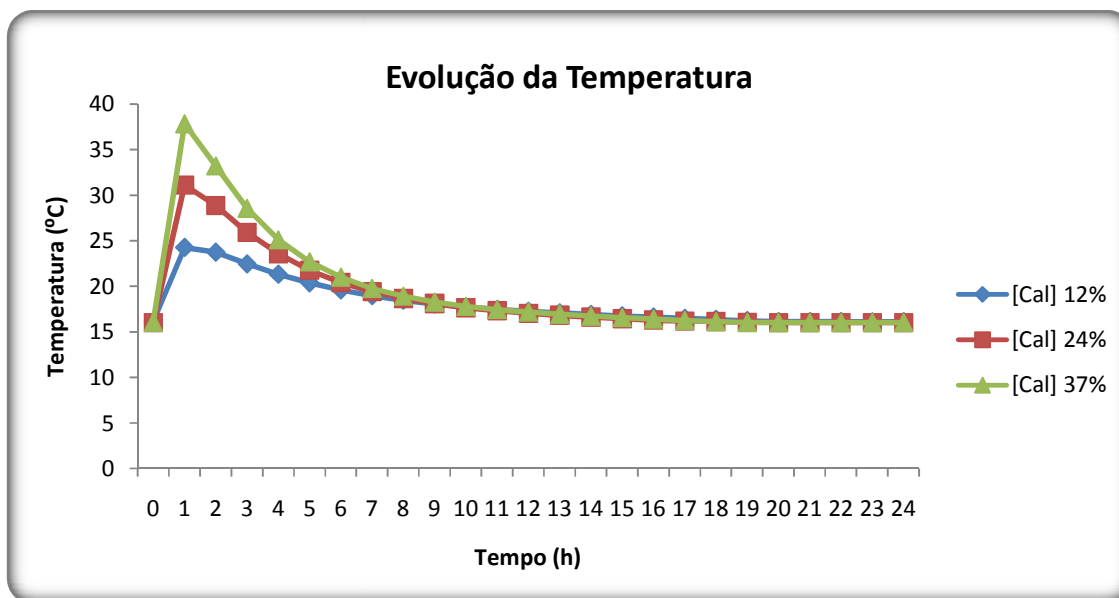


Figura 6.4 - Evolução da temperatura com a variação da concentração de cal, do EL2.

Neste ensaio foi possível verificar o aumento de temperatura, referido na literatura. No entanto, a temperatura de 55°C, requerida pelo Working Document on Sludge – 3rd Draft, para higienização não foi alcançada e nem mantida por duas horas.

6.2.3 Microrganismos

O Quadro 6.11 mostra os resultados dos testes de quantificação da *Escherichia Coli* efectuados nos EL1 e EL2 para as concentrações de 12%, 24/25% e 37%, tendo em conta os tempos duas, 24 e 2160 horas. Estes foram os tempos finais para a validação das premissas.

Quadro 6.11 - Quantificação de *Escherichia Coli*.

Ensaio laboratorial	<i>Escherichia Coli</i>			
	Tempo (h)	[Cal] 12%	[Cal] 24/25%	[Cal] 37%
EL1	2	-	x	x
	24	-	x	x
	2160	-	x	x
EL2	2	x	-	-
	24	x	-	-
	2160	✓	-	-

Legenda: x → Ausência de *Escherichia Coli*, ✓ → Presença de *Escherichia Coli* e - → Não foram efectuados testes.

Assim, nas concentrações de 24/25% e 37% de cal, a inactivação de *Escherichia Coli* é eficiente até, pelo menos, um período de 2160 horas. No entanto, para a concentração de 12 %, verifica-se que ao fim de três meses houve recrescimento da *Escherichia Coli*.

Na Figura 6.5 pode-se ver o filtro com as colónias de *Escherichia Coli* que recresceram ao final de três meses, na amostra com concentração de cal de 12%.



Figura 6.5 - Exemplo de colónias de *Escherichia Coli*, no EL2, ao final de três meses.

A Figura 6.6 apresenta o gráfico que relaciona o pH com a presença e ausência de *Escherichia Coli* para as nove análises microbiológicas efectuadas, para as concentrações de 12%, 24/25% e 37%, nos tempos duas, 24 e 2160 horas.

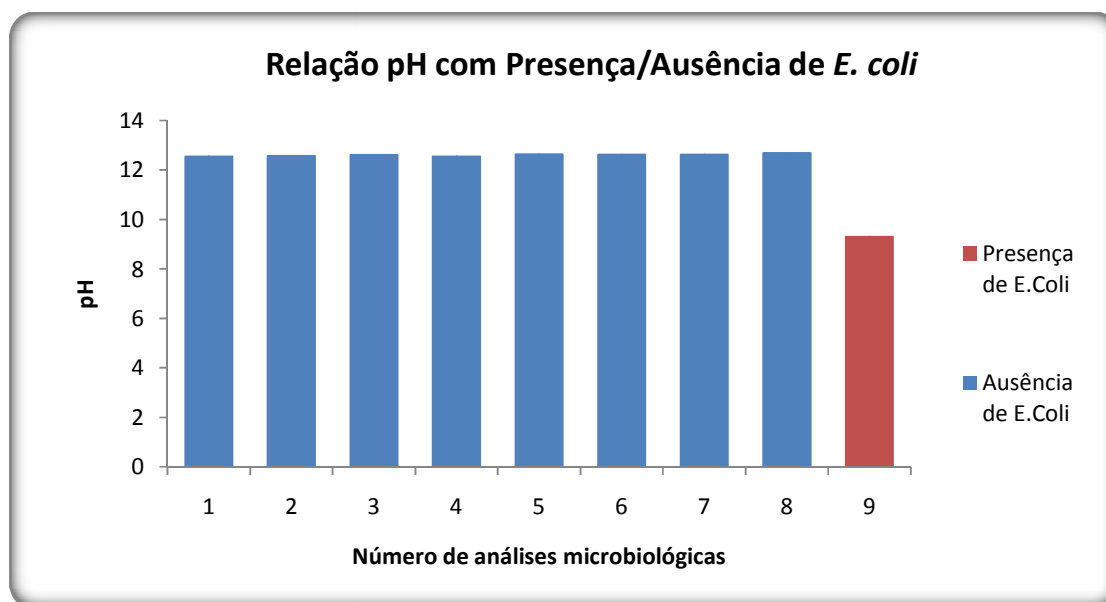


Figura 6.6– Relação de pH com a presença e ausência de *Escherichia Coli*.

A Figura 6.6 demonstra a relação de $\text{pH} \geq 12$ com a ausência de *Escherichia Coli*, tratando-se, assim, essencialmente de um efeito atribuído ao pH. Apenas a amostra com 12% de cal deu positiva, para $T=2160$ horas, sendo que apresentava um pH de 9,31, conforme Quadro 6.8.

6.2.4 Condutividade

O Quadro 6.12 apresenta os valores de condutividade em mS.cm^{-1} , obtidos nos três ensaios. Para algumas concentrações e para alguns dos tempos não foi determinada a condutividade.

Quadro 6.12 - Valores de condutividade da mistura nos três ensaios laboratoriais.

Tempo (h)	Condutividade (mS.cm^{-1})								
	[Cal]2%	[Cal]8%	[Cal]12%	[Cal]16%	[Cal]25%	[Cal]24%	[Cal]24%	[Cal]37%	[Cal]37%
	ELO	ELO	EL2	ELO	EL1	EL2	ELO	EL1	EL2
0	-	-	7,35	-	9,76	10,51	-	9,94	11,32
2	-	-	7,19	-	9,06	10,13	-	9,33	11,31
24	-	-	6,09	-	8,97	8,76	-	9,29	9,29
216	1,73	2,63	-	3,22	-	-	9,33	-	-
240	1,67	2,46	-	1,44	-	-	7,64	-	-
256	-	-	-	2,76	-	-	8,92	-	-
2160	-	-	0,91	-	7,11	6,99	-	7,61	7,60

A Figura 6.7 apresenta a evolução da condutividade, para as diferentes concentrações de cal ao longo do tempo.

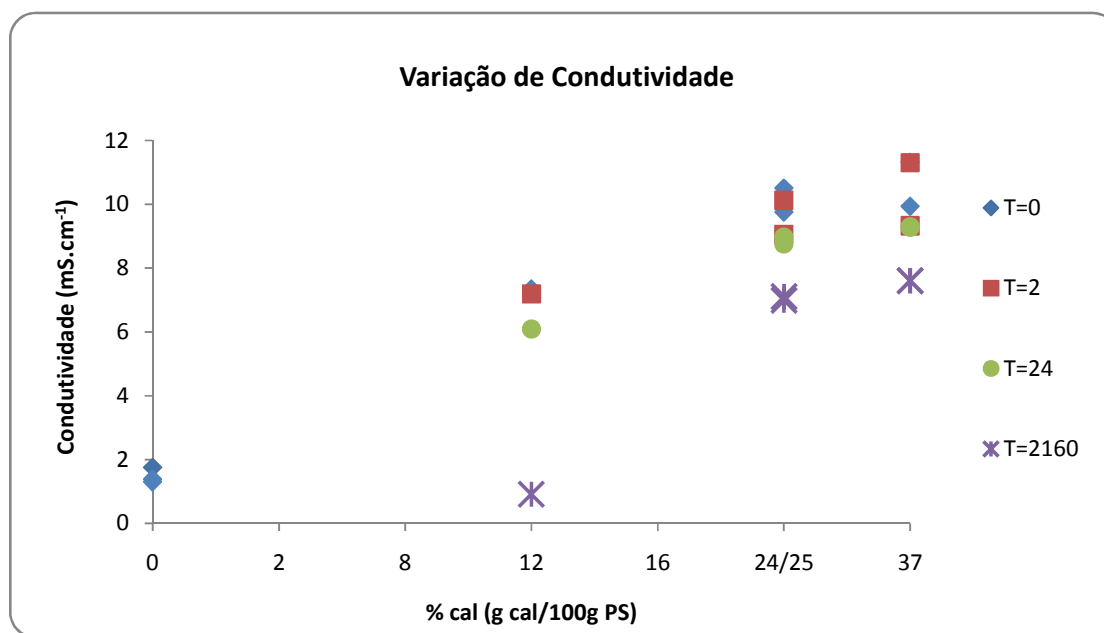


Figura 6.7 – Variação da condutividade com a concentração de cal.

É possível verificar-se um aumento da condutividade proporcional ao aumento da concentração de cal. Analisando ao longo do tempo, verificou-se que houve uma diminuição dos valores de condutividade.

Desta forma, quanto menor for o valor de condutividade da mistura, mais vantagens há para o solo. Este efeito pode ser conseguido com um aumento do tempo de acção do desinfectante na lama.

6.2.5 Humidade

No Quadro 6.13 encontram-se os valores em percentagem de PS e respectiva HU das misturas ao longo de 90 dias, para os EL1 e EL2.

Quadro 6.13- Teor de peso seco e humidade da mistura.

Tempo (h)	Peso seco e Humidade (%)									
	[Cal]12%		[Cal]24/25%				[Cal]37%			
	EL2		EL1		EL2		EL1		EL2	
	PS	Hu	PS	Hu	PS	Hu	PS	Hu	PS	Hu
0	26,67	73,33	32,80	67,20	29,84	70,16	37,73	62,27	32,91	67,09
24	26,24	73,76	33,09	66,91	29,47	70,53	38,00	62,00	42,49	57,51
168	-	-	34,28	65,72	-	-	39,05	60,95	-	-
336	-	-	35,24	64,76	-	-	39,64	60,36	-	-
504	-	-	35,26	64,74	-	-	39,78	60,22	-	-
720	-	-	37,06	62,94	-	-	42,98	57,02	-	-
1440	-	-	37,66	62,34	-	-	44,51	55,49	-	-
2160	-	-	37,97	62,03	-	-	46,12	53,88	-	-

Na Figura 6.8 está representada a variação da humidade com as diferentes concentrações de cal para o T=0.

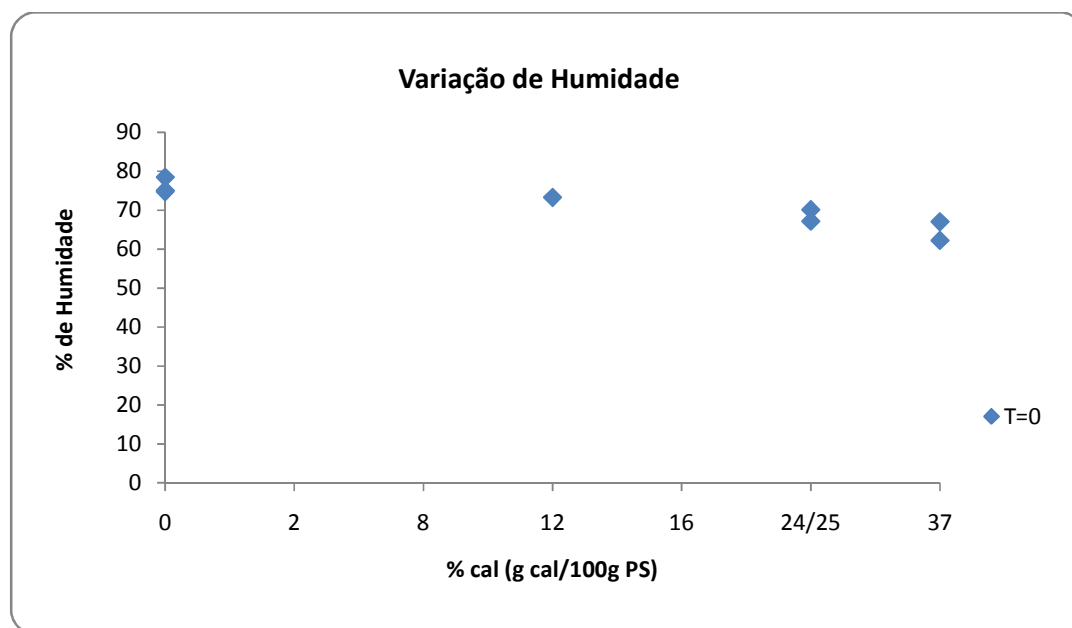


Figura 6.8 – Variação da humidade, para o T=0.

Verificou-se uma diminuição gradual da percentagem de humidade com o aumento da concentração de cal para um T=0. Assim, quanto maior a quantidade de cal adicionada, mais água se perde na mistura. Tal deve-se ao facto da cal, possuir uma humidade de aproximadamente 0% e reagir com a água existente na lama fresca.

O Quadro 6.14 apresenta valores de HU teórica e valores da HU determinada na prática, nos EL1 e EL2.

Quadro 6.14 - Valores de HU calculada e HU prática.

Ensaio Laboratorial	12%		24/25%		37%	
	HUt	HUp	HUt	HUp	HUt	HUp
EL1	-	-	54,9	67,20	50,89	62,27
EL2	59,79	73,33	57,2	70,16	54,71	67,09

Da análise do Quadro 6.14 é possível constatar-se as diferenças entre os dois valores para cada concentração, sendo que o valor calculado apresenta-se sempre inferior ao valor prático.

6.2.6 Sólidos Voláteis

No Quadro 6.15 estão representados os valores de sólidos voláteis, em percentagem para os três ensaios, apesar de não se terem realizado análises em todos os tempos.

Quadro 6.15 - Sólidos voláteis da mistura nos três ensaios laboratoriais.

Tempo (h)	SV (%)								
	[Cal]2%	[Cal]8%	[Cal]12%	[Cal]16%	[Cal]25%	[Cal]24%	[Cal]24%	[Cal]37%	[Cal]37%
	ELO	ELO	EL2	ELO	EL1	EL2	ELO	EL1	EL2
0	-	-	65,00	-	41,03	50,81	-	31,57	39,00
24	-	-	64,91	-	42,13	50,52	-	32,05	43,55
144	76,60	65,4	-	55,2	-	-	47,4	-	-
168	-	-	-	-	43,21	-	-	35,03	-
216	74,90	64,5	-	54,8	-	-	45,2	-	-
336	-	-	-	-	40,97	-	-	32,48	-
504	-	-	-	-	41,73	-	-	31,50	-
720	-	-	-	-	41,53	-	-	32,55	-
1440	-	-	-	-	42,34	-	-	33,92	-
2160	-	-	-	-	42,12	-	-	34,23	-

Na Figura 6.9 está representada a variação de sólidos voláteis ao longo do tempo.

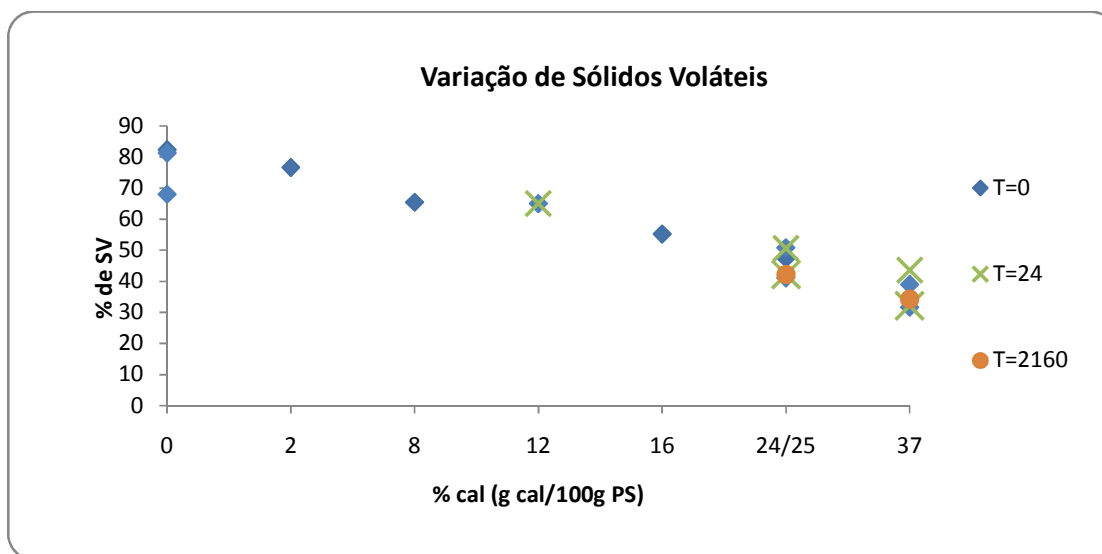


Figura 6.9 - Variação de sólidos voláteis com a concentração de cal.

A percentagem de SV diminui à medida que houve um aumento da concentração de cal na mistura, sendo assim previsível um comportamento de degradação da matéria orgânica. No entanto a diminuição de SV ao longo do tempo não é clara.

O Quadro 6.16 apresenta valores de sólidos voláteis calculados e valores de sólidos voláteis determinados na prática, para os EL1 e EL2.

Quadro 6.16 - Valores de SV calculados e SV práticos.

Ensaio Laboratorial	[Cal]12%		[Cal]24/25%		[Cal]37%	
	SVt	SVp	SVt	SVp	SVt	SVp
EL1	-	-	51,44	41,03	45,88	31,57
EL2	69,97	65,00	61,46	50,81	54,80	39,00

Analisando os valores é possível verificar-se que o valor calculado é superior ao valor prático.

A variação entre os valores teóricos e valores práticos é bastante significativa, devendo-se possivelmente a falha laboratorial, aquando da elaboração dos ensaios.

O Quadro 6.17 apresenta valores de sólidos voláteis da cal usada no EL0 e da cal usada nos EL1 e EL2.

Quadro 6.17 - Valores de SV para a cal usada no EL0 e a cal usada nos EL1 e EL2.

Cal		
Ensaio Laboratorial	Data	SV (%)
EL0	17.09.08	-16,19
EL1 e EL2	22.12.08	0,17

Analisando os valores verifica-se que no EL0 a percentagem é negativa o que significa que não existem SV. Analogamente, nos EL1 e EL2 o valor de 0,17 significa que não há SV.

Através do tratamento dos resultados obtidos, nos três ensaios laboratoriais efectuados e depois de analisadas as variações em cada um deles, desenvolveu-se a análise da validação das premissas propostas nos objectivos.

6.3 Validação da premissa H1 → pH ≥ 12 e T=55°C, por 2 horas

O Quadro 6.18 apresenta valores de pH e temperatura para T=0 e T=2 horas nos EL0, EL1 e EL2, considerando as diferentes concentrações de cal.

Quadro 6.18 - Valores pH e temperatura nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H1.

[Cal]	T=0			T=2			
	pH			pH			Temperatura
	EL0	EL1	EL2	EL0	EL1	EL2	EL2
0	8,39	8,71	8,92	-	-	-	-
2	10,51	-	-	-	-	-	-
8	12,25	-	-	12,12	-	-	-
12	-	-	12,57	-	-	12,55	22,47
16	12,35	-	-	12,44	-	-	-
24/25	12,34	12,67	12,69	12,47	12,57	12,67	25,94
37	-	12,62	12,80	-	12,61	12,74	28,57

A Figura 6.10 apresenta a variação do pH e temperatura, para as concentrações de cal estudadas e para T=2 horas.

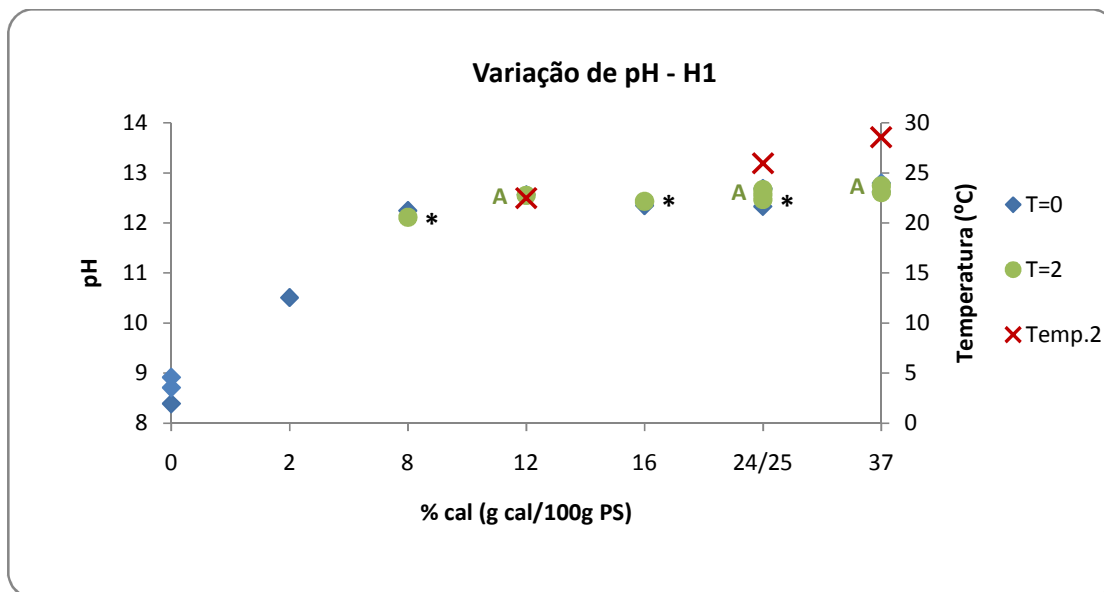


Figura 6.10 - Evolução de pH e temperatura das lamas para diferentes concentrações de cal, na H1.

Legenda: A → Ausência de *Escherichia Coli* e * → Valores de pH para T=3.

Através da análise à Figura 6.10 pode verificar-se que, pelo menos, a partir de uma concentração de 8% de cal é possível manter o $\text{pH} \geq 12$, por um período de duas horas.

Verifica-se também uma fraca ligação da temperatura com a adição de cal, sendo que a temperatura de 55°C nunca foi atingida. Para se obter esta temperatura seria necessário aumentar a concentração de cal adicionada, acima dos 37%.

A inativação da *Escherichia Coli*, para um período de duas horas foi efectiva, para as concentrações de 12%, 24/25% e 37%, conforme se pode verificar pela Figura 6.10.

6.4 Validação da premissa H2 → $\text{pH} \geq 12$, por três meses

O Quadro 6.19 apresenta valores de pH para T=0 e T=2160 horas nos EL0, EL1 e EL2, considerando as diferentes concentrações de cal.

Quadro 6.19 - Valores pH nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H2.

[Cal]	T=0			T=2160	
	pH			pH	
	EL0	EL1	EL2	EL1	EL2
0	8,39	8,71	8,92	-	-
2	10,51	-	-	-	-
8	12,25	-	-	-	-
12	-	-	12,57	-	9,31
16	12,35	-	-	-	-
24/25	12,34	12,67	12,69	12,62	12,53
37	-	12,62	12,80	12,68	12,58

A Figura 6.11 apresenta a variação do pH, para as concentrações de cal estudadas por um período de 2160 horas.

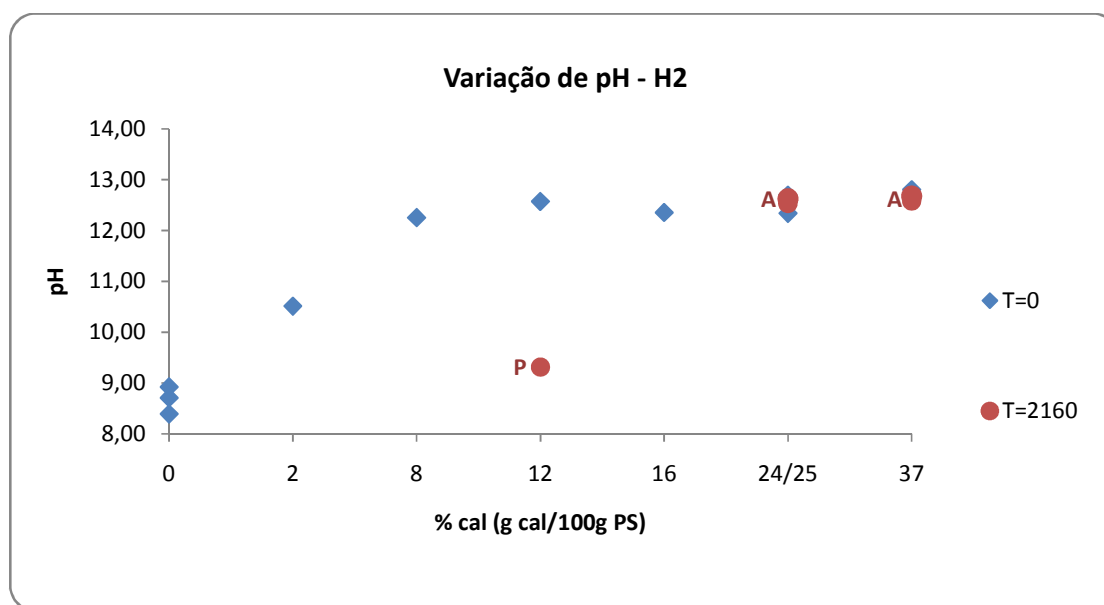


Figura 6.11 - Evolução do pH das lamas para diferentes concentrações de cal, na H2.

Legenda: A→ Ausência de Escherichia Coli e P→ Presença de Escherichia Coli.

Através da análise à Figura 6.11 pode verificar-se que pelo menos a partir de uma concentração de 24% de cal, é possível manter o pH ≥ 12 , por um período de três meses. Numa concentração de 12%, o pH não se mantém no período referido, levando ao

recrescimento da *Escherichia Coli*. Desta forma, é necessário averiguar o comportamento do pH para concentrações entre 12% e 24%, de modo a encontrar a concentração de cal necessária para o cumprimento da premissa H2.

6.5 Validação da premissa H3 → $\text{pH} \geq 12$ e mantê-lo por 24 horas

O Quadro 6.20 apresenta valores de pH para T=0 e T=24 horas nos EL0, EL1 e EL2, considerando as diferentes concentrações de cal.

Quadro 6.20 - Valores pH nos EL0, EL1 e EL2 para as diferentes concentrações de cal, na H3.

[Cal]	T=0			T=24		
	pH			pH		
	EL0	EL1	EL2	EL0	EL1	EL2
0	8,39	8,71	8,92	-	-	-
2	10,51	-	-	9,10	-	-
8	12,25	-	-	11,99	-	-
12	-	-	12,57	-	-	12,55
16	12,35	-	-	12,25	-	-
24/25	12,34	12,67	12,69	12,32	12,64	12,70
37	-	12,62	12,80	-	12,62	12,78

A Figura 6.12 apresenta a variação de pH, para as concentrações de cal estudadas num período de 24 horas.

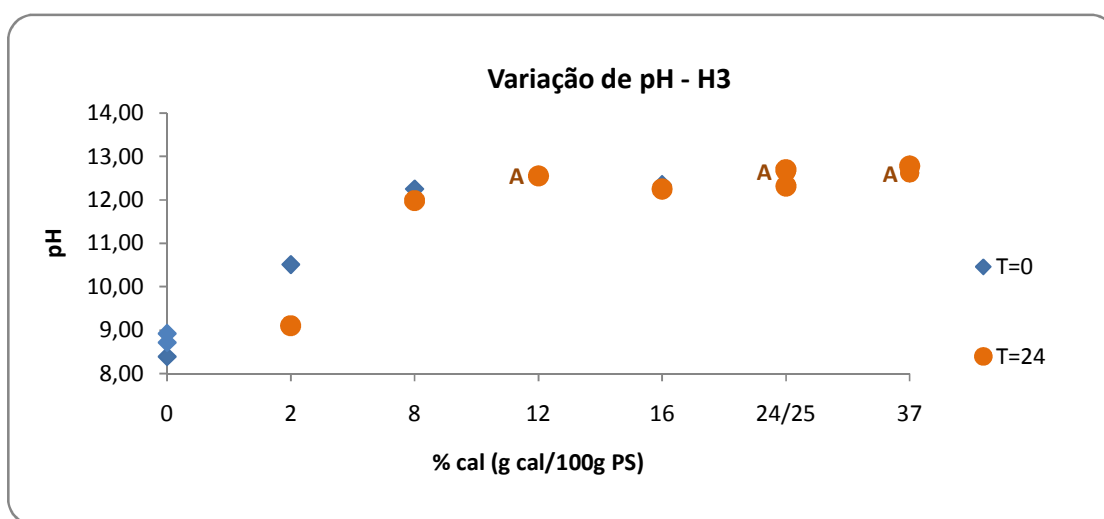


Figura 6.12 - Evolução do pH das lamas para diferentes concentrações de cal, na H3.

Legenda: A → Ausência de *Escherichia Coli*.

Verificou-se que pelo menos a partir de uma concentração de 8% de cal, é possível manter o $\text{pH} \geq 12$ por 24 horas, ainda que não tenha sido efectuada a análise microbiológica a esta concentração de cal. Verifica-se que sempre que o $\text{pH} \geq 12$ a determinação de *Escherichia Coli* foi negativa.

A inactivação da *Escherichia Coli*, para um período de 24 horas foi efectiva para as concentrações de 12%, 24/25% e 37%, conforme se pode verificar pela Figura 6.12.

A validação da premissa H1 não foi conseguida devido à temperatura. No entanto, a inactivação da *Escherichia Coli* foi conseguida apenas com o efeito de pH.

A premissa H2 apresenta-se como a mais coerente, visto tratar-se de um tratamento avançado em que as suas aspirações são, então, superiores.

O cumprimento da premissa H3, foi verificado, dado que, para um período de 24 horas a inactivação da *Escherichia Coli* foi positiva. No entanto a premissa H3 refere-se a um tratamento convencional, sendo que a aplicação no solo de lamas sujeitas a este tipo de tratamento, é menos abrangente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

O DL n.º 118/2006, de 21 de Junho em vigor para lamas apenas recomenda a realização de análises microbiológicas não existindo assim uma obrigatoriedade. No entanto, actualmente as comissões de coordenação aconselham agora a elaboração de análises microbiológicas, levando a um maior controlo das lamas, aplicadas ao solo.

O processo de calagem mostrou-se eficiente devido fundamentalmente ao efeito de $\text{pH} \geq 12$ sem real efeito ao nível da temperatura, resultados apoiados pelas análises microbiológicas à *Escherichia Coli*.

O efeito de temperatura como complemento do tratamento químico não foi obtido demonstrando, assim, a fraca vantagem da utilização do parâmetro temperatura para eficiência do processo de calagem. Um aumento de temperatura para 55°C , implica quantidades de cal superiores a 37%.

A condutividade apresenta valores mais elevados para concentrações superiores de cal, verificando-se, também, uma diminuição da condutividade ao longo do tempo mesmo para concentrações onde o pH diminui. Assim, quanto maior a condutividade, maior a salinidade introduzida no solo.

À medida que a concentração de cal aumenta a humidade diminui, a cal reage com a água da lama, aumentando, assim, o peso seco. Este facto deve-se à exposição da amostra ao ar, não estando relacionada com a acção dos microrganismos. Os valores obtidos na prática estão de acordo com a literatura.

A variação de sólidos voláteis apresenta uma diminuição gradual com o aumento das concentrações de cal adicionadas, sendo, assim, previsível um comportamento de degradação da matéria orgânica.

A nível do pH, conclui-se que para validar a premissa H1, uma concentração de cal de pelo menos 8% é suficiente. Em relação à premissa H2, uma concentração de pelo menos 24% é requerida. Para a premissa H3, uma concentração de, pelo menos, 8% é suficiente. Assim, demonstrou-se que a premissa H2 foi a mais vantajosa e equilibrada das três premissas. A concentração mínima a usar para se poder validar a premissa H2 estará entre 12 e 24 gcal/100gPS, visto que para 12% a análise microbiológica, aos três meses, foi positiva.

As premissas não são equivalentes, originando risco na utilização das lamas, tratadas diferentemente de acordo com as três premissas, a nível ambiental. Desta forma, a escolha da premissa não deverá ficar ao critério do utilizador.

Após a realização desta dissertação, alguns aspectos continuam a merecer atenção. Numa perspectiva de trabalho futuro podem sugerir-se os seguintes aspectos para uma análise mais detalhada:

Elaboração de ensaios com maior número de concentrações de cal, adicionadas à lama. Para o cumprimento das premissas H1 e H3, concentrações entre 2% e 8% e para o cumprimento da premissa H2 concentrações entre 12 % e 24%, de modo a corrigir e aferir mais eficazmente quanto a limites e acção da cal sobre os vários parâmetros.

Análise e quantificação de outros microrganismos emergentes, tais como: *Escherichia coli* O157:H7, *Helicobacter pylori*, *Listeria montocytogenes* e vírus entéricos existentes em lamas e estrumes que possuem um potencial de risco conhecido.

De modo a obter-se conclusões mais claras acerca da degradação da matéria orgânica em lamas tratadas com cal viva, sugere-se a realização de ensaios respirométricos para a determinação do consumo de matéria orgânica.

Propõe-se a realização de um tratamento químico de lamas com cal, através de armazenamento prolongado em condições anóxicas de modo a verificar-se a concordância do uso de menores quantidades de cal adicionadas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aasheim, S. E., et al. *Sludge Stabilization - Manual of practice FD-9*. Washington: Water Pollution Control Federation, 1985.

Bitton, G. *Wastewater Microbiology*. New York: Wiley-Liss, Inc., 1994.

Brandão, S. L., e S. C. Lima. “ph e condutividade eléctrica em solução do solo, em áreas de Pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia.” *Caminhos da Geografia* 3 (6), Junho de 2002: 46-56.

Bujoczek, G., R. S. Reiners, e J. A. Olaszkiwicz. “Abiotic factors affecting inactivation of pathogens in sludge.” *Water Science and Technology* vol 44 nº 10, 2001: 79-84.

Burns, Benjamin, Kenneth Krach, Charles Cole, Jessica Mangus, Howard Butler, e Baikun Li. “Evaluation of quicLime Incorporation in Bench-Scale and Full-Scale Lime Stabilized Biosolids Using a Flat Surface pH Electrode.” *Air & Waste Management Association*, Julho de 2007: 794-802.

Burton, C. H., e C. Turner. *Manure Management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*. Bedford, UK: Silsoe research Institute, Lister and Durling Printers, 2003.

Cerqueira, L. L., F. Fadigas, F. A. Pereira, T. V. Gloaguen, e A. C. Costa. “Desenvolvimento de Heliconia psitacorum e Gladiolus hortulanus irrigados com águas residuárias tratadas.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* vol.12 nº 6, 2008.

Choi, Euiso. *Piggery Waste Management*. London: IWA Publishing, 2007.

Da Costa, P. M., T. Nunes, P. Vaz-Pires, e F. Bernardo. "Reprodutibilidade e especificidade dos métodos de detecção de *Escherichia coli* em águas e lamas colhidas em estações de tratamento de águas residuais." *RPCV 101*, 2006: 283-290.

Decreto Legislativo n.º 99. (1992-01-27). Concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura. Ecologia.

Decreto-Lei n.º 118/2006. "DR 1ª série A". (2006-06-21) Utilização de lamas de depuração em solos agrícolas.

Deng-Fong, Lin, Lin Kae-Long, Hung Min-Jui, e Luo Huan-Lin. "Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil." *Journal of Hazardous Materials 145*, 2007: 58-64.

DG ENV.A.2 (2003). Draft Discussion Document for the Hoc Meeting on Biowastes and Sludge. Directorate-General Environment. Bruxelas, 18 December.

DG ENV. E.3 (2000). Working Document on Sludge - 3rd Draft. Directorate-General Environment Bruxelas, 27 April.

Diez, J. A., A. I. de laTorre, M. C. Cartagena, M. Carballo, A. Vallejo, e M. J. Muñoz. "Evaluation of the Application of Pig Slurry to an Experimental Crop Using Agronomic and Ecotoxicological Approaches." *Journal of Environmental Quality 30*, 2001: 2165-2172.

Directiva n.º 86/278/CE do Conselho de 12 de Junho. Relativa à protecção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração.

Duarte, Elizabeth Da Costa Neves Fernandes D'Almeida, e Inês Batalha Reis. "A calagem como processo de estabilização e higienização de lamas de ETAR."

EN 12176:1998, Documentation - Characterization of sludge - Determination of pH-value.

EN 12879:1998, Documentation - Characterization of sludge - Determination of the loss on ignition of dry mass.

EN 12880:2000, Documentation - Characterization of sludge - Determination of dry residue and water content.

Filip, Z., D. Kaddu-Mulindwa, e G. Milde. "Survival of some pathogenic and facultative pathogenic bacteria in groundwater." *Water Science And Technology* 20, 1988: 227-231.

Fleming, R. 1999,

<http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/research/magazine/summer99/pdfs/p22-23.pdf>

(consultado a 12 de Novembro de 2008).

Gantzer, C., P. Gaspard, L. Galvez, A. Huyard, N. Dumouthier, e J. Schwartzbrod. "Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge." *Water Research* 35, 2001: 3763-3770.

Gerba, C. P., I. L. Pepper, e L. F. Whitehead III. "A risk assessment of emerging pathogens of concern in the land application of biosolids." *Water Science and Technology Vol 46 No 10* , 2002: 225-230.

Gray, N. F. *Biology of wastewater treatment*. London: Imperial College Press, 2004.

Guan, Tat Yee, e Richard A. Holley. "Pathogen Survival in Swine Manure Environments and Transmission of Human Enteric Illness - A Review." *Journal of Environmental Quality* 32, 2003: 383-392.

Harrison, J. H., et al. *Evaluation of the pathogen reduction from plug flow and continuous feed anaerobic digesters*. North Carolina State University College of Agriculture and Life Sciences, 2005.

Heinonen-Tanski, Helvi, Mohammed Mohaibes, Paivi Karinen, e Jari Koivunen. "Methods to reduce pathogen microorganisms in manure." *Livestock Science* 102, 2006: 248-255.

ISO 9 308 - 1:2000. Determinação da *Escherichia Coli*.

Klerks, M. M., A. H. Van Bruggen, C. Zijlstra, e M. Donnikov. "Comparison of Methods of Extracting *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis DNA from Environmental Substrates and Quantification of Organisms by Using a General Internal Procedural Control." *Environmental Microbiology*, Junho de 2006: 3879-3886.

Li, Huan, Yiyang Jin, Rasoolbux Mahar, Zhiyu Wang, e Yongfeng Nie. "Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment." *Bioresource Technology*, 2008: 5140-5144.

Mitscherlich, E., e E. H. Marth. *Microbial survival in the environment*. New York: Springer-Verlag, 1984.

Mohaibes, M., e H. Heinonen-Tanski. "Aerobic thermophilic treatment of farm slurry and food wastes." *Bioresource Technology*, 2004: 245-254.

Nelson, H. (1997), *The contamination of organic produce by human pathogens in animal manures*, http://eap.mcgill.ca/SFMC_1.htm (consultado a 20 de Janeiro de 2008).

Plachá, Iveta, Ján Venglovsky, Zuzana Maková, e José Martinez. "The elimination of *Salmonella typhimurium* in sewage sludge by aerobic mesophilic stabilization and lime hydrated stabilization." *Bioresource Technology* 99, 2008: 4269-4274.

Plachá, I., J. Venglovsky, N. Sasakova, e I. Svoboda. "The effect of summer and winter seasons on the survival of *salmonella typhimurium* and indicator microorganisms during the storage of solid fraction of pig slurry." *Journal of Applied Microbiology* 91, 2001: 1036-1043.

Real Decreto 1310/1990. (1990-10-29). Por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

Ros, M., C. García, e T. Hernández. "A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties." *Waste Management* 26 (2006) 1108–1118, 2006: 1108-1118.

Rynk, Robert. "Digested versus raw manure." *Biocycle*, 2003.

Sanchez-Monedero, M. A., C. Mondini, M. Nobili, L. Leita, e A. Roig. "Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter." *Waste Management* 24, 2004: 325-332.

Santos, M. T., L. Amaral, e F. Santana. "Remoção biológica de azoto de efluentes de suinicultura por arejamento intermitente." *Conferência científica e tecnologica em engenharia*. 2002.

Singer, R. S., R. Finch, H. C. Wegener, R. Bywater, J. Walters, e M. Lipsitch. "Antibiotic resistance – the interplay between antibiotic use in animals and human beings." *Lancet Infectious Diseases*, 3, 2003: 47-51.

Task force 151 and Project Horizontal, 2005. Preparation of Horizontal standards in the fields of biowaste, sludge and soil - Determination of electrical conductivity in soil, sewage sludge and biowaste. CEN, European Committee for Standardization.

Turner, C. "The thermal inactivation of E. coli in straw and pig manure." *Bioresource Technology* 84 , 2002: 57-61.

Turovskiy, I. S., e P. K. Mathai. *Wastewater sludge Processing*. A Jonh Wiley & Sons, inc., Publication, 2006.

US EPA (1993). "Standards for the use and disposal of sewage sludge - 40 CFR 503".

Varadyova, Z., I. Zelenak, P. Siroka, e P. Dubinsky. "In vitro fermentation of cellulosis amorphous and meadow hay in experimentally *Ascaris suum* infected lambs. " *Small Ruminant Research*. 40, 2001: 155-164.

Venglovsky, Jan, Jose Martinez, e Iveta Placha. "Hygienic and ecological risks connected with utilization of animal manures and biosolids in agriculture." *Livestock Science* 102 , 2006: 197-203.

Vinneras, B. "Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure." *Bioresource Technology*, 2007: 3317-3321.

Vinneras, B., A. Holmqvist, E. Bagge, A. Albiñ, e H. Jonsson. "The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling." *Bioresource Technology* 89, 2003: 155-161.

Westerman, P. W., e J. R. Bicudo. "Management considerations for organic waste use in agriculture." *Bioresource Technology* 96, 2005: 215-221.

Westerman, P. W., L. M. Safley Jr., e J. C. Barker. "Potential harmful effects from land applying animal manures." Chicago, 1983.